

# **Untersuchungen zur Optimierung des Feuerwiderstandsverhaltens von Gipsplatten**

## **DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur

**an der Fakultät Bauingenieurwesen  
der Bauhaus-Universität Weimar**

vorgelegt von  
Marcin Wieteska  
aus Warschau

Gutachter:

1. Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. mult. Dr. h.c. mult. J. Stark
2. Prof. Dr. rer. nat. habil. Hans-Ulrich Hummel
3. Prof. Dr. rer. nat. Albrecht Wolter

Tag der Disputation: 9 November 2012

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Leiter der Abteilung Anwendungstechnik und Entwicklung der Knauf Sp. z o. o. in Warschau und bei sehr umfangreichen Zusammenarbeit mit der Abteilung Forschung und Entwicklung Knauf Gips KG.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Hans Ulrich Hummel, der mir die Möglichkeit gegeben hat sich mit Problemen aus dem Berufsbereich im Rahmen dieser Arbeit zu beschäftigen und jederzeit Rat und Hinweis zur dieser Arbeit gegeben hat. Ich danke sehr herzlich Herren Dr. Georg Krämer und Dr. Wolfgang Rümmler, die als folgende Leiter der Abteilung Anwendungstechnische Entwicklung der Knauf Gips KG mich unterstützt haben. Ich möchte mich besonders bei Frau Katharina Engelhardt und Herrn Jacek Piwowarski bedanken, die Laboruntersuchungen begleitet haben. Für die fachliche Beratung und Begleitung der großtechnischen Prüfungen danke ich besonders Herrn Jens Schaper.

Ich danke sehr herzlich meinem Geschäftsführer Herrn Jarosław Milewski, der diese Arbeit begrüßt hat.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Jochen Stark und Herrn Dr. Hans Bertram Fischer, die diese Arbeit betreut haben und mit fördernder Kritik zur Seite standen.

© Copyright by Marcin Wieteska  
Warszawa 2012

ISBN 978-83-936473-0-9

Gips war als Baustoff auch wegen seiner feuerhemmenden Eigenschaften geschätzt. In Frankreich wurde z. B. in einer Verordnung vom 18. August 1667 durch König Ludwig XIV festgelegt, dass das Holzfachwerk der Häuser mit genagelten Latten und Gips zu überziehen sei "sowohl innen als auch außen, so daß sie dem Feuer widerstehen können".

[ Benhamou, G Le Platre Paris: J. B. Bailliere 1981 ].



Der Große Brand Londons im Jahre 1666.

1.	Problemstellung .....	6
2.	Stand der Forschung.....	9
2.1.	Der Bandstraßenprozess .....	9
2.2.	Thermische Beanspruchung von Gipsplatten.....	10
3.	Materialien und Methoden.....	21
4.	Versuchsaufbau zur Charakterisierung des Feuerwiderstands bei Laborversuchen .....	22
4.1.	Probekörperherstellung für Laborversuch .....	22
4.2.	Untersuchung des Feuerwiderstands im Labormaßstab, Temperaturmessung, Schrumpfverhalten .....	22
4.3.	Voruntersuchungen .....	26
4.4.	Einfluss des Wasser-Gips-Wertes (WGW).....	31
4.5.	Einfluss des Bindemittels .....	34
4.6.	Der Einfluss von Tensiden auf das Porengefüge von Versuchsproben und auf die Wärmeleitfähigkeit bei Wärmebeanspruchung. ....	37
5.	Zusatzstoffe und ihre Wirkungsweise.....	40
5.1.	Kühlungseffekt durch endotherme Reaktionen bzw. Zersetzungsreaktionen.....	40
5.2.	Verminderung der thermischen Leitfähigkeit durch porenbildende Zusatzstoffe.....	41
5.3.	Verringerung des Schrumpfungsverhaltens durch expandierende Zusatzstoffe.....	41
5.4.	Verbesserung der integralen Stabilität von Gipsplatten .....	42
6.	Auswirkungen von Zusatzstoffen bei Brandbeanspruchung im Laborversuch .....	42
6.1.	Synthetischen Zeolithe .....	44
6.2.	Gipsbauteile mit Ettringit .....	47
6.3.	Gipsbauteile mit expandierten Perliten.....	49
6.4.	Gipsbauteile bei Wollastonitzugabe .....	51
6.5.	Bauteile bei Zugabe von Anhydrit .....	53
6.6.	Bauteile bei Zugabe von Glasfasern .....	55
6.7.	Diskussion der Ergebnisse.....	57

7.	Konzept für eine optimierte Rezeptur, Kombinationen von verschiedenen Additiven .....	76
8.	Bandstraßenversuch zur großtechnischen Herstellung von Gipsplatten mit optimierter Rezeptur .....	79
9.	Praktische Brandprüfung .....	80
9.1.	Auswahl einer Konstruktion zur Prüfung im Großmaßstab .....	80
9.2.	Der Wandprüfstand .....	80
9.3.	Ergebnisse der Prüfungen von Wandkonstruktionen .....	82
9.4.	Schlussfolgerungen .....	85
10.	Zusammenfassung und Ausblick .....	91
11.	Literaturverzeichnis .....	94
	Ehrenwörtliche Erklärung .....	98
	Lebenslauf .....	99
	Anlagen .....	100

## 1. Problemstellung

Trockenbau ist eine der modernsten und effektivsten Bauweisen für den Innenausbau. Die Geschichte des Trockenbaus beginnt mit der Erfindung der Gipsplatten vor über einhundert Jahren. Im Jahre 1894 wurden die ersten Gipsplatten von Augustine Sackett in den USA hergestellt und patentrechtlich geschützt. Die Grundlagen des Trockenbaus gehen auf das Jahr 1910 zurück, indem die so genannten „Sackett Boards“ auf eine Unterkonstruktion aus Holz montiert wurden. Der erste Hersteller von „Gipskartonplatten“ der heutigen Form war das amerikanische Unternehmen Sheetrock Brand Gypsum Panels, das 1917 ein Produktionsverfahren mit Karton als beidseitiger Verstärkung des Gipskernes eingeführt hat [1].

Die heutzutage produzierten Gipsplatten werden insbesondere als Wand- und Deckenbekleidungen, als Beplankungen für Montagewände und Unterdecken sowie für die Herstellung vorgefertigter Bauteile verwendet. Zur Wahrung des hohen nationalen Qualitäts- und Sicherheitsniveaus in Deutschland wurde zusätzlich zur neuen DIN EN 520 [3] die DIN 18180 [29] als nationale Restnorm erhalten.

Gipsplatten sind werkmäßig gefertigte, im Wesentlichen aus Gips bestehende ebene und rechteckige Bauplatten, deren Flächen und Längskanten mit einem fest haftenden, dem Verwendungszweck entsprechenden Karton, ummantelt sind. Die Kartonoberflächen können in Abhängigkeit vom Verwendungszweck der jeweiligen Plattenart variieren. Der kartonummantelte Gipskern kann Zusätze zur Erzielung bestimmter Eigenschaften enthalten [3]. Wesentliche Platteneigenschaften resultieren aus der Verbundwirkung von Gipskern und Kartonummantelung, wobei der Karton als Armierung der Zugzone wirkt und in Verbindung mit dem Gipskern den Gipsplatten die erforderliche Festigkeit und Biegesteifigkeit verleiht [2].

Gipsplatten bieten im Hinblick auf ihre geringe Dicke ausgezeichneten Feuerschutz. Dies liegt darin begründet, dass der Gipskern etwa 20 %

Kristallwasser enthält, das bei Brandeinwirkung abgegeben wird und durch den Verdampfungsprozess Energie „verzehrt“. Die Temperatur auf der dem Feuer abgewandten Seite bleibt über längere Zeit in Abhängigkeit von der Plattendicke unterhalb 200 °C nahezu konstant. Eine erhöhte Wärmedämmung wird durch die entwässerte Gipsschicht bewirkt.

Feuerschutzplatten (Kurzzeichen: GKF) dienen für Anwendungsbereiche mit Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile (Anwendung nach DIN 4102-4 oder entsprechend einem Prüfzeugnis einer dafür bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle) [2]. Zur Verbesserung des Gefügezusammenhalts bei hohen Temperaturen (Brandfall) enthält der Gipskern dieser Platten mineralische Fasern und/oder andersartige Zusätze [3].

Gipsplatten nach DIN 18180 [29] mit geschlossener Oberfläche gehören als klassifizierte Baustoffe entsprechend DIN 4102 [72] Teil 4 der Baustoffklasse A2 an (nicht brennbare Baustoffe). Gemäß Kommissionsentscheidung in Ergänzung zum Anhang B der DIN EN 520 [3] werden Gipsplatten hinsichtlich ihres Brandverhaltens in der Regel als A2 - s1, d0 klassifiziert. Nach DIN EN 13501-1 [64] bedeuten: A2 nicht brennbar, s1 keine Rauchentwicklung und d0 kein brennendes Abfallen/Abtropfen [2].

Feuerwiderstand ist die Eigenschaft eines kompletten Systems, nicht eines einzelnen Bauteiles. Sofern erforderlich, ist der Feuerwiderstand eines Systems mit Gipsplatten nach EN 13501-2 [65] zu klassifizieren [3].

Eine Trockenbauwand stellt beispielsweise ein System dar: eine Kombination von Unterkonstruktion, Beplankung und Dämmschicht. Die Kombination der drei Hauptkomponenten bedingt verschiedene bauphysikalische Eigenschaften. Der Feuerwiderstand ist dabei ein Parameter, der nach gesetzlichen Vorschriften für eine Trockenbauwand gefordert wird.

Trockenbauwände mit einlagiger Beplankung ohne Dämmstoff können bis ca. 45 Minuten und Trockenbauwände mit zweilagiger Beplankung ohne Dämmstoff können bis ca. 100 Minuten ihre trennende Funktion unter

Feuerbedingungen erhalten. In vielen Fällen ist das nicht ausreichend und so resultiert daraus ein dringender Entwicklungsbedarf. Die Feuerwiderstandsdauer ist besonders stark von der Art und Anzahl der Beplankungselemente abhängig. Aus diesem Grund ist vor allem die Optimierung der Beplankungselemente sehr wichtig. Im Fokus steht hierbei vor allem die Feuerschutzplatte, wobei die Parameter, die die Feuerwiderstandsdauer beeinflussen, eindeutig zu charakterisieren und schließlich zu optimieren sind. Als Zielvorgabe sollte eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten bei einlagiger Beplankung und von 120 Minuten bei zweilagiger Beplankung, jeweils ohne Dämmstoff, erreicht werden.

Hierzu galt es das Feuerwiderstandsverhalten von Gipsplatten durch Anwendung verschiedener Zusätze zu verbessern. Ausgewählt wurden hierfür mineralische Zusatzstoffe mit besonders stark energiedissipierendem Charakter.

Ausgehend von der Wirkung einzelner Komponenten sollte abschließend herausgefunden werden, ob eine Kombination verschiedener Zusatzstoffe eine weitere Verbesserung ermöglicht.

Für eine in den Laboruntersuchungen ermittelte günstige Plattenrezeptur erfolgt ein Bandstrassenversuch. Die dabei hergestellten Platten sollen bei einem Brandversuch ihre Wirksamkeit nachweisen.

Anhand von Gefüge- und weiteren Untersuchungen ist aufzuzeigen, ob die Stabilität der Platten im Brandfall stärker durch die Faserqualität oder durch die Energieaufnahme der Zusatzstoffe bestimmt wird.



## **2. Stand der Forschung**

### **2.1. Der Bandstraßenprozess**

Der Gipsbrei bei der Gipsplattenproduktion besteht im Wesentlichen aus Stuckgips und Wasser, wobei die effektive Vermischung in Horizontal-Durchlaufmischern geschieht. Neben diesen beiden Hauptkomponenten wird Stärke eingesetzt, die als Haftvermittler zwischen Gipskern und Karton dient. Ferner nutzt man Tenside, um das Gewicht der Platten zu steuern sowie diverse Zusätze zur Stabilitätssteigerung, etwa Glasfasern oder Cellulosefasern (aus Altpapier). Je nach Plattenart können Hydrophobierungsmittel und Fungizide oder Additive zur Funktionalisierung von Gipsplatten beigegeben werden. Der Gipsbrei wird in hochwertigem Mehrlagenkarton auf großen Bandanlagen im kontinuierlichen Betrieb eingebettet.

Abbildung 1 zeigt das Schema einer Produktionsanlage mit den wesentlichen Anlagenteilen:

- Zulauf des Kartons unten, der die Sichtseite der Platte bildet und für die Kantenformung angeritzt wird (1),
- Zulauf von Gipsbrei mit Verteilung durch die Formstation mit gleichzeitigem Kartonzulauf von oben (2–3),
- Abbindestrecke mit Schere als Schneidevorrichtung (4–5),
- Wendetisch mit Einlauf in einen Mehretagentrockner (6–8),
- Plattenaustrag mit Besäumungseinrichtung für Querkanten und Plattenbündelung (9–11).

Das Abbindeverhalten des Gipses sowie die Länge des Abbindebandes und die Bandgeschwindigkeit sind aufeinander abgestimmt. Bei den modernen Anlagen mit hoher Bandgeschwindigkeit erreichen die Abbindestrecken eine Länge von mehreren hundert Metern [2].

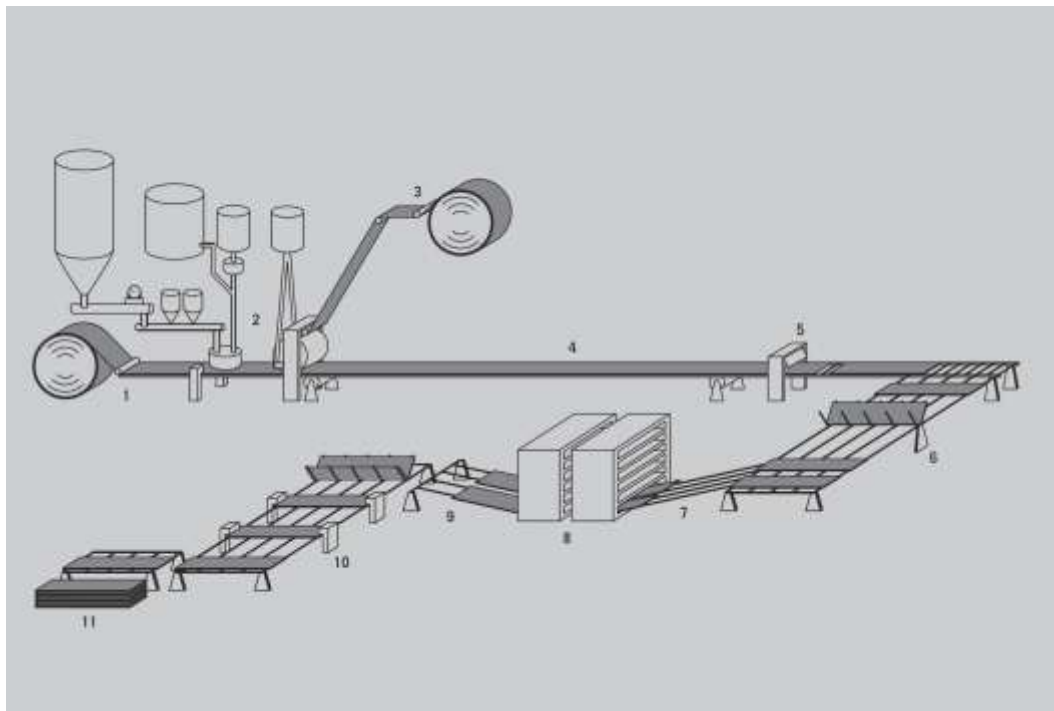


Abbildung 1. Schema einer modernen Anlage für die Herstellung von Gipsplatten [2].

## 2.2. Thermische Beanspruchung von Gipsplatten

Eine wesentliche Einflussgröße auf den Feuerwiderstand eines Baustoffes ist seine spezifische Wärme. Sie ist ein charakteristischer Kennwert und bezeichnet die auf die Masse bezogene Wärmekapazität. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, welche Wärmemenge (gemessen in Joule) einem Stoff zugeführt werden muss, um seine Temperatur um ein Kelvin zu erhöhen. Die Einheit der spezifischen Wärmekapazität ist:

$$[c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} = \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Tabelle 1. C-Werte der verschiedenen Baustoffen [5].

Substanz	Aggregatzustand	Spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg·K)
Beton	fest	0,88
Granit	fest	0,79
Gips	fest	1,09

Abbildung 2 zeigt die Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur der Gipsplatten.

Nach Drysdale [6] beträgt die spezifische Wärme von Gipsplatten im Bereich der Zimmertemperatur  $0,84 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ . Dieser Zahlenwert ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Hermathy [7], der eine Größenordnung für  $c$  von  $0,88 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  angibt. Im Kurvenverlauf  $c(T)$  liegt das Maximum bei  $100^\circ\text{C}$  und das Minimum bei  $350^\circ\text{C}$  mit  $c = 0,25 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ . Der Energiebetrag für die Plattenentwässerung liegt mithin bei  $(7.32 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} - 0,88 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}) \cdot 62,5 \text{ K} / 2 = 201 \text{ kJ/kg}$ .

Nach Andersson und Jansson [13] werden im Bereich von  $100^\circ\text{C}$  ca. 75 % des Kristallwassers einer Gipsplatte entfernt; der Energiebetrag hierfür wird mit  $515 \text{ kJ/kg}$  quantifiziert. Die restlichen 25 % des Kristallwassers entweichen im Bereich von  $210^\circ\text{C}$  (Dehydratisierung des entstandenen Halbhydrats); der Energieaufwand hierfür beträgt  $185 \text{ kJ/kg}$ . Andere Autoren ermitteln die Größenordnung von  $c$  mittels DSC-Verfahren und finden so eine Größenordnung von  $c = 0,95 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ .

Die Integration liefert einen Absolutwert von  $490 \text{ kJ/kg}$  für den Wärmeaufwand von  $95^\circ\text{C}$  bis  $140^\circ\text{C}$ . Weitere Untersuchungen, beispielsweise vom National Research Council in Kanada, haben ähnliche Werte ergeben [17].

Thomas hat ein Computermodell entwickelt, das als Startparameter verschiedene thermische Kennwerte von Gipsplatten benötigt. Mittels Finite-Elemente-Ansatz entsteht ein Modell für den Wärmedurchgang durch Trockenbauwände, wobei konstruktive Details wie z. B. Fugen nicht berücksichtigt werden [4]. Thomas wählt für seine ausgedehnten Untersuchungen den Basiswert der spezifischen Wärme von  $c = 0,95 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  [14].

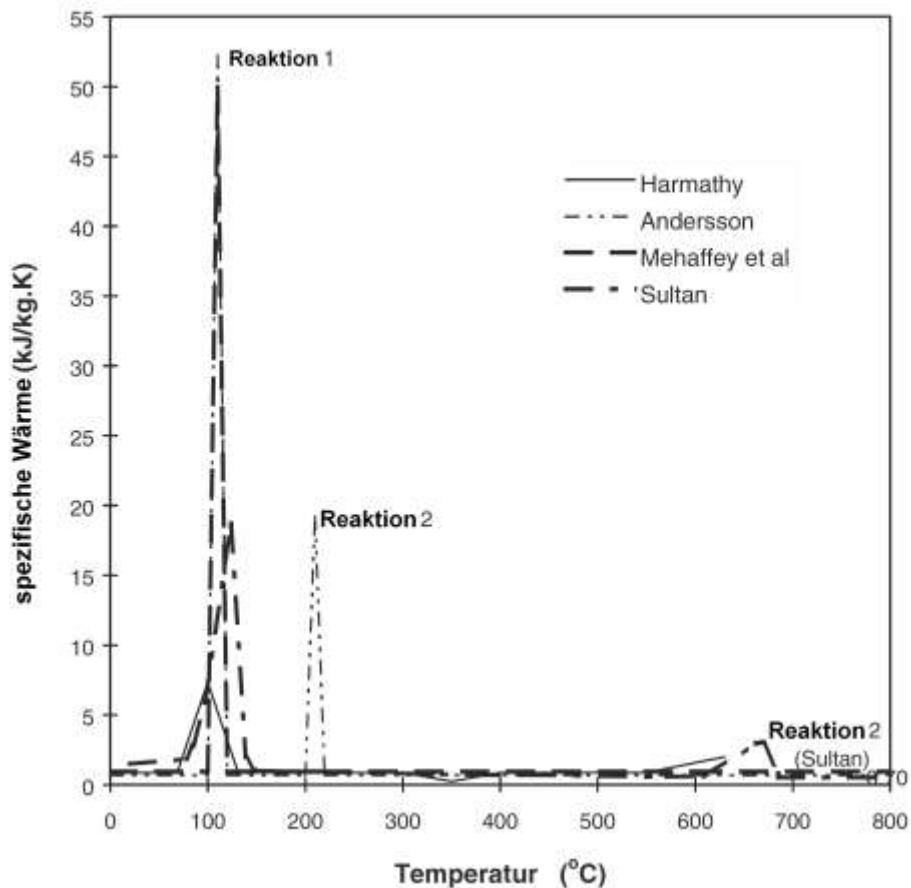
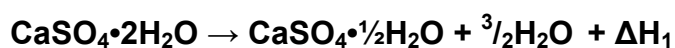


Abbildung 2. Die spezifischen Wärmen von Gipsplatten, beschrieben von verschiedenen Autoren [4].

Die erste endotherme Reaktion (EER) im Verlauf  $c(T)$  markiert die thermische Calcination von Gips zu Halbhydrat:



Die Bildungsenthalpie für die Beta-Form des Halbhydrats beträgt 110 kJ/kg, demzufolge ist dieser Betrag auch für die Zersetzungsreaktion anzusetzen. Die zweite endotherme Reaktion (ZER) markiert die vollständige Entwässerung vom Hemihydrat zum Anhydrit:



Die Enthalpie dieser Reaktion liegt bei 50 kJ/kg für die Beta-Phasen.

## **Der Einfluss der freien Feuchtigkeit**

Der Basiswert der spezifischen Wärme  $0,95 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  berücksichtigt den Einfluss der freien Feuchtigkeit nicht. Die Proben, die Mehaffey und andere [14] genommen haben, wurden 24 Stunden bei einer Temperatur von  $40^\circ\text{C}$  getrocknet. Wenn wir annehmen, dass die freie Feuchte hierbei 3 bis 4 % des Gewichtes betrug, wächst der Wert der spezifischen Wärme um

$$0,035 / 1,035 \times (4,184 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} - 0,95 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}) = 0,11 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}.$$

Bei Untersuchungen an der Universität Canterbury [17] wurden Gipsplattenproben 9 Tage bei einer Temperatur von  $50^\circ\text{C}$  getrocknet und dann stufenweise bis  $180^\circ\text{C}$  innerhalb von 8 Wochen erwärmt. Nach der Trocknung betrug der Anteil an Kristallwasser 22,4 bis 23,3 % des Trockengewichtes, was 18 bis 18,7 % des Gesamtgewichtes entspricht. Nach 4 Wochen bei einer Temperatur von  $105^\circ\text{C}$  und einer Woche Lagerung bei einer Temperatur von  $120^\circ\text{C}$  haben die Proben das Minimum des Gewichtes erreicht.

Da zwischen  $120^\circ\text{C}$  und  $180^\circ\text{C}$  kein Kristallwasseranteilgefälle registriert worden ist, hat man angenommen, dass die zweite endotherme Reaktion (ZER) nicht vorgekommen ist.

Auf Grund der ersten endothermen Reaktion (EER) Reaktion wurde das Kristallwasser in Menge von 15,675% Gesamtgewichtes abgedämpft. Daraus ergibt sich, dass die

$18,02 - 15,7 = 2,3\%$  bis  $18,7 - 15,7 = 3\%$  des Gesamtgewichtes der Rest des in der Gipsplatte verbliebenen freien Wasser ist. Dieser Anteil ist schwer zu entfernen. Den Anteil der Feuchtigkeit in Gipsplatten beträgt ca. 4 bis 8 % abhängig von Außenbedingungen [16].

## **Die Reaktionsenthalpien und deren Einfluss auf die Spezifische Wärme**

Nach Andersson und Jansson [10] betragen die entsprechenden Reaktionsenthalpien 515 (Dihydrat) und  $185 \text{ kJ/kg}$  (Halbhydrat), wobei die EER zwischen  $100^\circ\text{C}$  und  $120^\circ\text{C}$  und die ZER zwischen  $200^\circ\text{C}$  und  $220^\circ\text{C}$  angesiedelt sind.

Bei der Entstehung von  $\beta$ -Halbhydrat bei 110 °C ergibt sich folgendes Bild:

Zersetzungswärme für die Reaktion		112 kJ/kg
Entfernung des Kristallwassers	$0,75 \times 0,21 \times 2260 =$	354 kJ/kg
Entfernung des Poren-Wassers	$(0,024 + 0,030) / (2 \times 2260)$	61 kJ/kg
<b>Gesamt</b>		<b>517 kJ/kg</b>

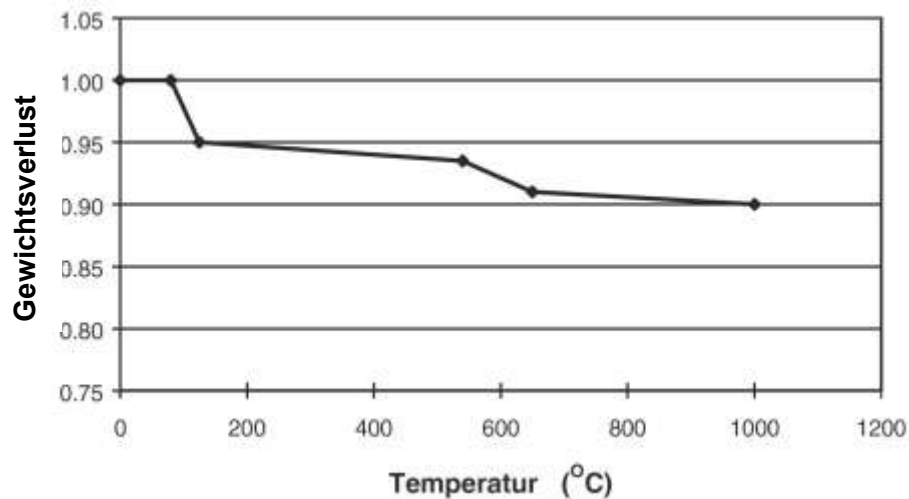
Für den Übergang Halbhydrat in Anhydrit in der  $\beta$ -Form ergeben sich folgende Werte:

Wärme der Reaktion		64 kJ/kg
Entfernung des Kristallwassers	$0,25 \times 0,21 \times 2260 =$	118 kJ/kg
<b>Gesamt</b>		<b>182 kJ/kg</b>

Der Wert von 182 kJ/kg für die ZER scheint etwas hoch zu sein, aber der Gesamtwert von 700 kJ/kg liegt innerhalb des Bereiches zwischen  $515 + 168 = 683$  kJ/kg und  $527 + 182 = 709$  kJ/kg. Man kann einen kleineren Wert für die EER und einen größeren für die ZER als korrekt annehmen, da bis zu einer Temperatur von 120 °C nicht die ganze Feuchtigkeit entfernt wurde [4].

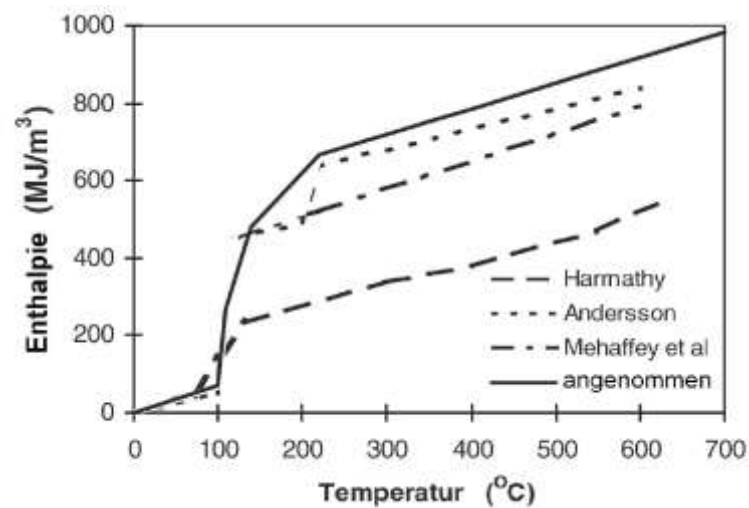
## Die Enthalpie des Gipses und der Gipsplatten

Bei Darstellung eines Wärme-Durchgangsmodells mit der Finite Elemente Methode soll man, statt der Werte der Rohdichte und der Spezifischen Wärme nur die Enthalpiekurve für das entsprechende Volumen verwenden. Die Enthalpiekurve wird bei Computerprogrammen der Klasse TASEF [9] verwendet, um den Maximalwert der spezifischen Wärme bei verschiedenen Temperaturen zu ermitteln. Die Enthalpie ist ein Integral des Produktes der spezifischen Wärme, des Volumens und der Dichte in einem bestimmten Temperaturbereich. Die Ausgangsdichte wird durch Wägung eines definierten Volumens eines Gipsplattenmusters ermittelt und die Abnahme der Dichte während der Temperaturerhöhung wird nach Hermathy ermittelt (Abbildung 3) [7].



**Abbildung 3. Gewichtsverlust der Gipsplatten in Abhängigkeit von der Temperatur [4].**

Da die Gipsplatte 24 Gew.-% Wasser enthält, muss ein Teil davon in der Platte als absorbierte Feuchte verbleiben. Dadurch ist der Gewichtverlust geringer als 24 %. Die Enthalpiekurve wird durch die Ausgangsdichte, den Gewichtsverlustfaktor während der Aufheizphase und durch die spezifische Wärme determiniert (Abbildung 4).



**Abbildung 4. Enthalpiekurven für Gipsplatten von verschiedenen Autoren [4].**

Nach Thomas ergibt sich ein erster Peak zwischen 100 °C und 140 °C mit einem Maximum bei 110 °C, wobei dieses Signal symmetrisch ist. Ein zweites, ebenfalls symmetrisches Signal erscheint im Bereich zwischen 140 °C und 220 °C mit einem Maximum bei 200 °C [4].

## Die Wärmeleitfähigkeit der Gipskartonplatten

Die Wärmeleitfähigkeit, auch Wärmeleitzahl einer Gipsplatte, kennzeichnet ihr Vermögen, thermische Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren. Die (spezifische) Wärmeleitfähigkeit in  $\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m})$  ist eine temperaturabhängige Materialkonstante [5].

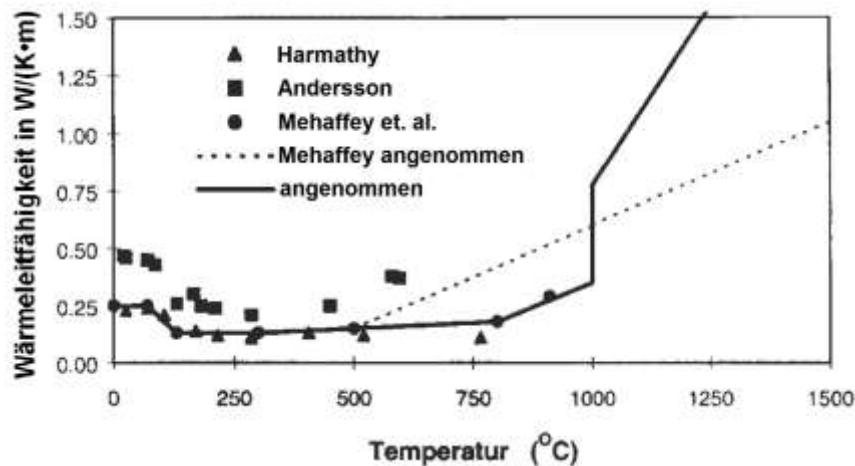


Abbildung 5. Werte der Wärmeleitfähigkeit der Gipsplatten von verschiedenen Autoren [4].

Abbildung 5 zeigt die Werte der Wärmeleitfähigkeit, die von verschiedenen Autoren ermittelt wurden. Die Werte von Harmathy wurden mit einer variablen Scanntechnik mit relativ niedrigem Temperaturgradienten ermittelt. Die Genauigkeit dieser Methode wird mit 7 % angegeben [7].

Die Werte von Andersson und Jansson, wurden mit der THS-Methode (Transient Hot Strip) ermittelt. Bei dieser Methode wird der elektrische Widerstand eines Metallstreifens, der im Festkörper eingefügt ist, gemessen. Auf dieser Basis wird die Wärmeleitfähigkeit bestimmt.

Mehaffey et. al. haben ein Wärmeleitfähigkeitsmessgerät verwendet, bei dem die Wärmeleitfähigkeit durch die Analyse des stationären Zustandes ermittelt wird. Für die Wärmeleitfähigkeit im Bereich über 500 °C wurden spezielle Techniken verwendet, um die Rissbildung und Ablation zu berücksichtigen [4].

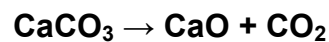


## **Ablation**

Ablation ist ein Prozess, bei dem dünne Schichten der Gipsplatte während der Erwärmung abfallen. Bei Gipsplatten mit Faserzusatz zur Erhöhung der inneren Festigkeit verläuft dieser Prozess langsamer [4].

## **Die thermische Zersetzung von Calciumcarbonat**

Bei starker Erwärmung von Gipsplatten wird das möglicherweise darin enthaltene Calciumcarbonat (Verunreinigung des Ausgangsstoffes Gipsstein) thermisch gespalten [12].



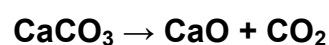
Anders und Gallagher haben diese Reaktion mittels Thermogravimetrie und dynamischer Differenzkalorimetrie unter feuchter und trockener Argonatmosphäre bei unterschiedlichen Aufheizgeschwindigkeiten untersucht. Die bedingungsabhängigen Zersetzungstemperaturen wurden in folgendem Intervall ermittelt: 643 °C ...891 °C.

Eine Zersetzung des Calciumcarbonates ist somit erst bei Temperaturen oberhalb von 650 °C realistisch, was für praktische Untersuchungen an Gipsplatten nur in unmittelbarer Nähe der Wärmequelle relevant ist.

## **Die thermische Zersetzung von Dolomit**

Bei der Erwärmung von Gipsplatten ist prinzipiell auch die Zersetzungsreaktion von Dolomit, zu betrachten [12].

Die thermische Zersetzung gestaltet sich wie folgt, in einem Zweistufenprozess:



Diese thermische Zersetzung wurde von McIntosh und anderen mittels Thermogravimetrie und Differenz-Thermoanalyse untersucht. Die Zersetzung erfolgt in zwei Stufen. Die erste Stufe ist die Zersetzung von Magnesiumcarbonat zu Magnesiumoxid. Die zweite Stufe charakterisiert die thermische Zersetzung von Calciumcarbonat. Beide Stufen der Zersetzung von Dolomit kommen im Temperaturbereich über 600°C vor [23].

### **Das Wärmedurchgangsmodell durch eine Holzständerwand**

Mehaffey und andere haben ein einfaches, 2-dimensionales Computer-Modell für den Wärmedurchgang durch eine Trockenbauwand beschrieben. Die entsprechenden physikalischen Parameter der Gipsplatten wurden durch Laboruntersuchungen ermittelt.

Die entsprechenden Parameter für die Holzständer wurden der Literatur entnommen.

Die Richtungen des Wärmedurchgangs durch die Trockenbauwand wurden senkrecht und parallel zur Oberfläche der Wand betrachtet. Der Wärmedurchgang in der zur Wandoberfläche vertikalen Richtung wurde nicht berücksichtigt.

Die Computersimulation erfolgte mittels eines Finite-Elemente-Ansatzes. Ferner wurden parallel zur Simulation Laborversuche an 6 Proben durchgeführt. Vier Proben mit der Dimension 74 cm x 79 cm wurden in einem kleinen, elektrisch beheiztem Ofen geprüft. Zwei weitere Muster wurden auf einem großen Wandprüfstand getestet. Es wurden sechs Konstruktionen im Hinblick auf drei Kriterien geprüft. Siehe Anhang A I.

Es ist deutlich zu sehen, dass die Ergebnisse der Computersimulation mit den Laboruntersuchungen bis 500 °C gut korrelieren. Da im Computermodell die Feuchtemigration nicht berücksichtigt wird, zeigen sich Unterschiede in den Steigungen der gemessenen Temperatur. Siehe Anhang A I.

Es zeigt sich, dass das Computermodell ziemlich gut den beobachteten Feuerwiderstand der Trockenbauwand widerspiegelt. Besonders die Simulationsergebnisse der untersuchten Kriterien sind mit den Laborprüfungen auf dem Kleinprüfstand und dem Wandprüfstand vergleichbar. Siehe Anhang A I [14].

## **Das Wärmedurchgangsmodell durch eine Metallständerwand**

Sultan hat eine einfache eindimensionale Computersimulation mit den Ergebnissen von zwei experimentellen Prüfungen an nichttragenden Metallständerwänden ohne Dämmung auf einem Großprüfstand verglichen. Für das Modell hat Sultan folgende Voraussetzungen angenommen:

- Der Wärmefluss erfolgt in eine Richtung ohne Berücksichtigung des Wärmeflusses durch den Metallständer.
- Der Karton auf der Feuerseite bleibt nur 3 Minuten erhalten.
- Der Dämmeffekt der Abdeckplättchen der Messstellen wurde nicht berücksichtigt.
- Die Migration der Feuchtigkeit in der Gipsplatte wurde nicht berücksichtigt.
- Es wurde angenommen, dass die Gipsplatten über die ganze Zeit der Simulation am Probekörper verbleiben und nicht abfallen.
- Es wurde angenommen, dass es im Wandhohlraum keine Wärmeverluste gibt.

Die Wärmedurchgangsberechnungen wurden mittels Finite-Elemente-Methode simuliert. Für die experimentelle Verifizierung der Simulation sind zwei Wandkonstruktionen geprüft worden. Siehe Anhang. A II. Beide Konstruktionen wurde in einem entsprechenden Wandprüfstand vermessen [18].

Der Vergleich zwischen Simulationsrechnungen und experimentellen Prüfungen ergibt folgende Details:

- Das Modell ermittelt den Temperaturverlauf in einer Metallständerwand ohne Dämmstoff, der gut mit dem experimentellen korreliert.
- Das Modell ermittelt Temperaturwerte auf der vom Feuer nicht beeinflussten Seite der Wandkonstruktion, die, im Vergleich mit Temperaturwerten, die während der Prüfungen gemessen wurden, deutlich höher ausfallen (konservativ sind).
- Die Gipskartonplatte befindet sich bei 600 °C nicht mehr an der Unterkonstruktion, was im Modell nicht berücksichtigt wird.

- Die erzwungene Wärmekonvektion, die durch die schnelle Erwärmung des Ofens entsteht, spielt eine signifikante Rolle, bleibt bei der Simulationsberechnung aber unberücksichtigt [18].

Der heutige Stand der Forschung zum Feuerwiderstandsverhalten von Trockenbaukonstruktionen mit Gipsplatten basiert auf sehr ausgedehnten Untersuchungen zur Bestimmung von bauphysikalischen Parametern. Insbesondere werden hier folgende Parameter von Gipsplatten betrachtet: Wärmekapazität, Spezifische Wärme und Enthalpie. Diese Parameter wurden für die Entwicklung von mathematischen Modellen zur Ermittlung des Feuerwiderstandes von Trockenbaukonstruktionen genutzt. Diese Modelle korrelieren sehr gut mit parallel durchgeführten großtechnischen Untersuchungen. Ein wesentlicher Einfluss auf das Feuerwiderstandsverhalten resultiert aus der Qualität der Gipsplatte. Diesbezügliche qualitative Verbesserungen ermöglichen den Einsatz der Platten bei höherer Brandgefährdung oder führen zu einem geringeren Materialeinsatz (Plattenstärke). So gilt es, Zusatzstoffe oder Kombinationen von Zusatzstoffen zu finden, die den Feuerwiderstand von Gipsplatten weiter verbessern. Dieses Ziel scheint im Ergebnis der bisherigen Erkenntnisse auf diesem Gebiet durchaus realistisch.

### **3. Materialien und Methoden**

Als Calciumsulfatbindemittel für die Herstellung der Plattenproben und Prismen wurden REA-Gips und Naturgips verwendet. Rauchgasentschwefelungsanlagengips (REA-Gips) entsteht bei der Entschwefelung der Rauchgase von Kraftwerken, die mit fossilen Brennstoffen befeuert werden. In der Natur finden sich Gips und Anhydrit häufig in ausgedehnten Ablagerungen in vielen Ländern der Erde. Sie sind durch Auskristallisation aus übersättigten, wässrigen Lösungen seichter Meeresteile entstanden, dabei haben sich zuerst Carbonate, dann Sulfate und zuletzt Chloride in der Abfolge ihrer Löslichkeit abgesetzt.

Um die Eigenschaften der Gipsplatten unter den Bedingungen von hohen Temperaturen zu verbessern, werden dem Gips verschiedene Additive zugegeben. Je nachdem, welche physikalischen Parameter durch ein Additiv beeinflusst werden, kann man die Zusatzstoffe in bestimmte Substanzklassen einordnen (siehe Kap. 5).

Für sehr genaue Messungen der Volumenänderung von Feststoffen bei Temperaturänderung dient die Dilatometrie (DIL). Dabei wird die lineare thermische Ausdehnung einer Probe als Funktion der Temperatur ermittelt. Für die Untersuchungen wurde das Gerät: DIL L 75/76 Platinum (Firma Linseis Messgeräte GmbH) verwendet. Die in den Abbildungen aufgezeigte Längenänderung bezieht sich jeweils auf eine Probekörperlänge von 20 mm.

Für die genaue Ermittlung der Strukturänderung des Gipskernes wurden ESEM Bilder vor und nach der Temperaturbeeinflussung der Probe aufgenommen.

Das Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) ist ein Rasterelektronenmikroskop, in dem die Bildaufnahmen der Proben in einer Probekammer unter einem höherem Druck aufgenommen werden.

Für die Beurteilung des Feuerwiderstandverhaltens der Gipsplatten wurden Untersuchungen durchgeführt bei denen die Proben mit Temperaturen bis 1000°C beeinflusst worden sind (siehe Kap. 4).

#### **4. Versuchsaufbau zur Charakterisierung des Feuerwiderstands bei Laborversuchen**

##### **4.1. Probekörperherstellung für Laborversuch**

Die im Labor zu untersuchenden Proben müssen gesondert gefertigt werden, da der Aufwand für Bandstraßenversuche unvertretbar hoch wäre. Auf die Applikation von Sicht- und Rückseitenkarton wurde verzichtet, da deren Einfluss zum einen als gleichbleibend anzusehen ist und zum anderen im Rahmen dieser Arbeit nicht beurteilt werden soll.

Entsprechend dem ermittelten Wasser-Gips-Wert (WGW) wurden ca. 800 g Feststoff (Gipsbinder + evtl. Additive) in 480 ml Wasser innerhalb von 15 s eingestreut und anschließend 30 s mittels eines Schneebesens innig gerührt. Anschließend füllt man die Masse in eine speziell gefertigte Form mit der benötigten Größe von 200 mm x 150 mm x 20 mm. Nach Erreichen des Versteifungsendes (30 min) wird die Probe zunächst 60 Minuten bei 80 °C und anschließend bei 40 °C weitere 60 Minuten getrocknet. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur sind die Probekörper für Untersuchungen einsatzbereit.

Die Prismen zur Charakterisierung der Volumen- und Gewichtsänderung wurden in gleicher Weise gefertigt.

##### **4.2. Untersuchung des Feuerwiderstands im Labormaßstab, Temperaturmessung, Schrumpfverhalten**

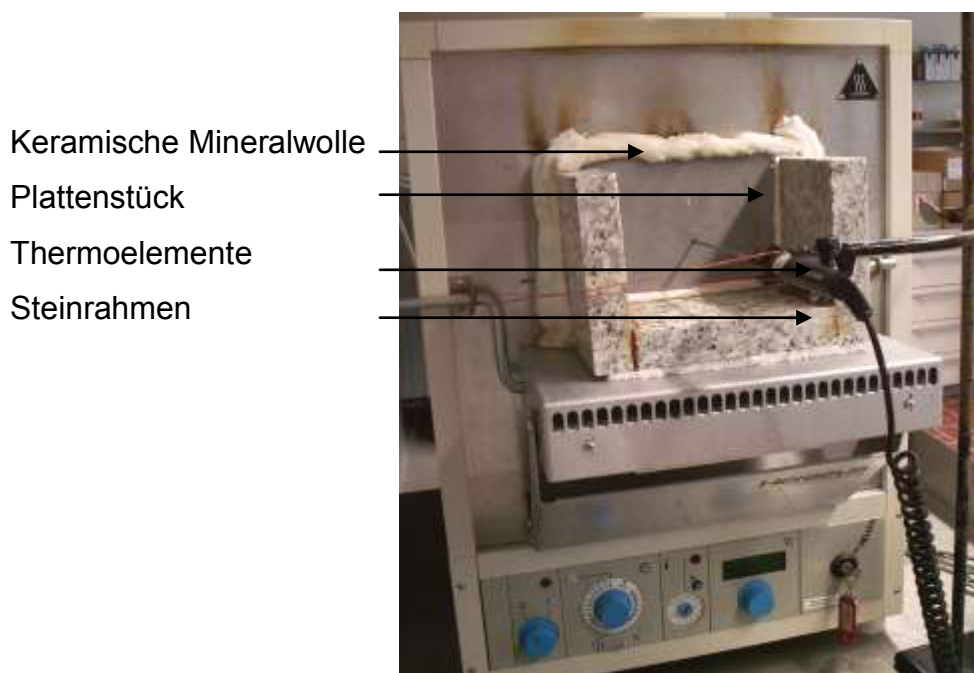
Um den Einfluss unterschiedlicher Herstellungsbedingungen von Gipsplatten sowie die Auswirkungen verschiedener Zusätze vergleichend zu charakterisieren, wurden Methoden entwickelt oder angewandt, die den Brandbedingungen weitgehend entsprechen und mit geringem Materialaufwand auskommen.

Wie aus dem vorangestellten Literaturteil ersichtlich, sind die wesentlichen Kriterien zur Gewährleistung einer hohen Sicherheit im Brandfall:

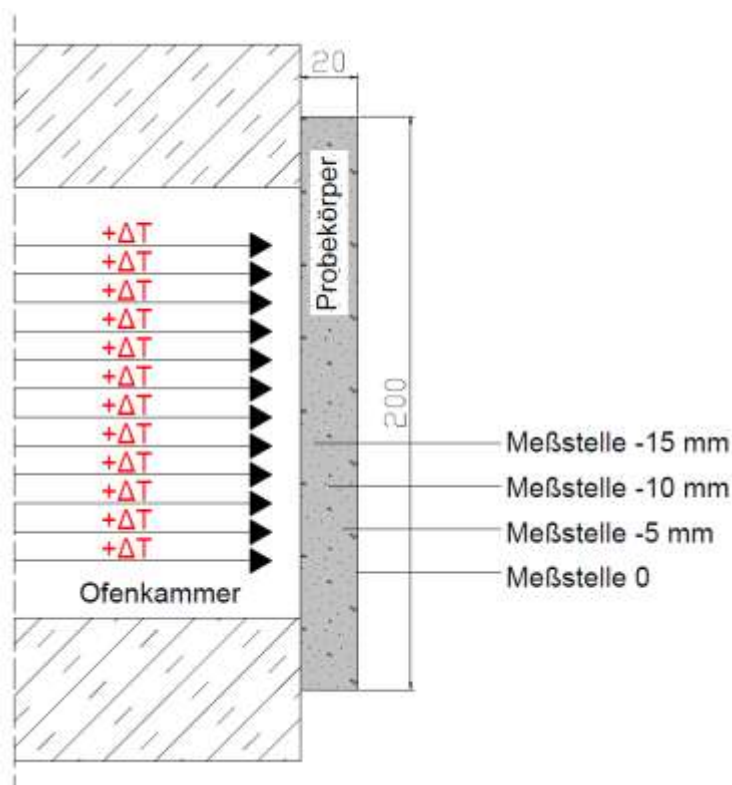
- die langsame und geringe Erwärmung der Platte sowie
- Rissausbildung und Volumenstabilität.

Bezugnehmend auf Erfahrungen von Gipsplattenproduzenten wurde für die Untersuchungen des Feuerwiderstandes ein Muffelofen M 104 von der Firma Heraeus verwendet. Damit kann die einer Brandbelastung entsprechenden Temperatur von 970 °C problemlos erreicht werden. Der Nutzraum des Ofens beträgt 3,5 dm<sup>3</sup> und die Temperaturverteilung in der Mittelachse liegt nach DIN 17052 bei +/- 10 K (Klasse C) [22].

Der Ofen wird zunächst auf die Temperatur 970 °C aufgeheizt. Danach wird das zu untersuchende Plattenstück vor die Öffnung gestellt. Die kleinen Undichtheiten rund um den Probekörper werden mit keramischer Mineralwolle abgedichtet. Der Probekörper wird mittels eines Steinrahmens positioniert und stabilisiert. Der Temperaturverlauf an der Außenseite der Platte wird bis zum Erreichen eines nahezu konstanten Wertes (Maximaltemperatur) mittels Nickel-Chrom/Nickel-Thermoelementen erfasst. Dieser wird bei den gewählten Untersuchungsbedingungen innerhalb von 90 Minuten erreicht. Die Abbildungen 6 bis 8 veranschaulichen diesen Versuchsaufbau.



**Abbildung 6. Muffelofen Heraeus M 104 mit angepasster Gipsbauplatte zur Ermittlung des Feuerwiderstands bei Laborversuchen.**



**Abbildung 7. Versuchsaufbau zur Ermittlung des Feuerwiderstands bei Laborversuchen - Positionierung der Messstellen im Querschnitt des Probekörpers.**

Die Volumenstabilität der Platte kann im Ergebnis des eben beschriebenen Brandversuches bei einer einseitigen Wärmebeanspruchung anhand des Rissbildes (Rissbreite, Risshäufigkeit) beurteilt werden.

Für die genaue Rissbild-Beurteilung wurden Aufnahmen der Proben nach der Untersuchung des Feuerwiderstands mit einer Digitalen Camera Sony Nex 5 genommen. Die Kamera wurde auf einem dazu geeigneten Stativ befestigt und mit Hilfe eines verstellbaren Stativkopfes direkt oberhalb der entnommenen und abgekühlten Plattenprobe positioniert.



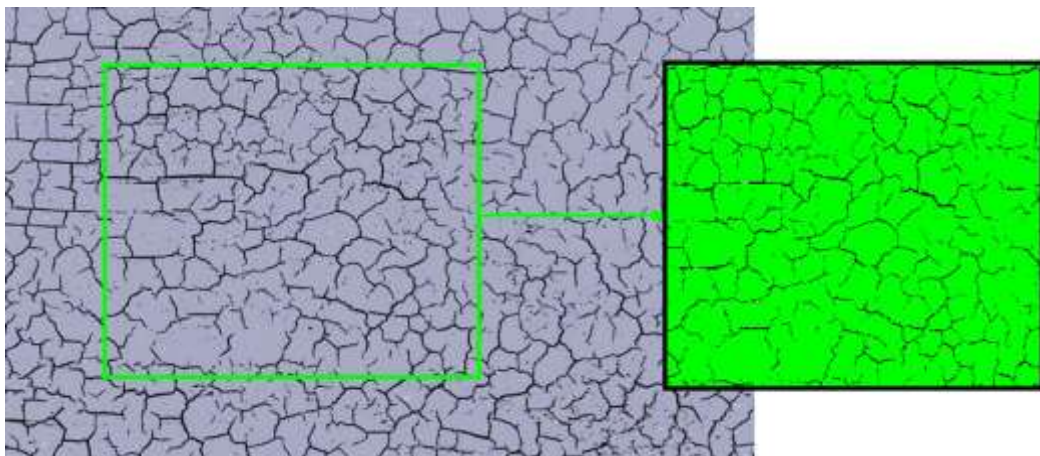
Digitalkamera  
Sony NEX-5

Stativ  
Plattenstückt



**Abbildung 8. Versuchsaufbau zur Ermittlung des Feuerwiderstands bei Laborversuchen - Positionierung der Digitalkamera oberhalb der Plattenprobe**

Die Schwerpunkte der Bearbeitung der Aufnahmen waren Riss- und Partikelflächenermittlung und Rissbreitenbestimmung. Für die Bearbeitung der oben stehenden Punkte wurde das Programm analySIS der Firma Soft Imaging verwendet. Dieses Programm stand an der Universität in Weimar zur Verfügung, die Auswertung erfolgte daher am FIB durch Frau Dietsch. [93,94,95].



**Abbildung 9. Aufnahme des Rissbildes einer wärmebeanspruchten Plattenprobe und Bearbeitung mit Bildbearbeitungsprogramm.**

Das Bildbearbeitungsprogramm ist kompatibel mit Microsoft Office Excel. Somit können die erfassten bzw. gemessenen Daten ausgegeben und gesichert werden. Eine Auflistung bzw. Zuordnung der detektierten Fläche bzgl. ID und seiner Merkmale ist ebenfalls für jeden Partikel bzw. Riss möglich.

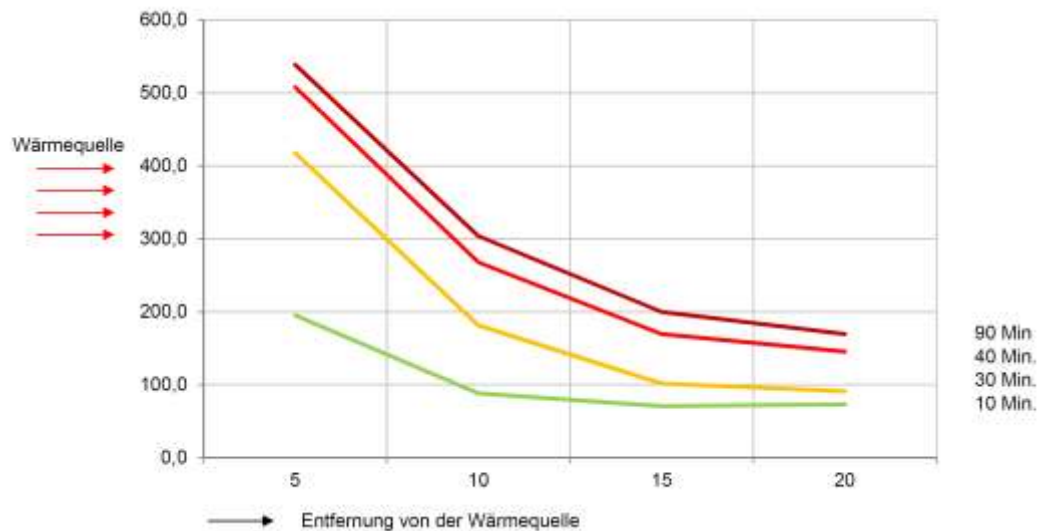
Eine Bestimmung der Rissbreiten kann mit diesem Programm nicht automatisch erfolgen. Es müsste auf eine manuelle Ausmessung zurückgegriffen werden, via Messinstrument an der Gipsplatte oder digital am Bild (z.B. analySIS).

Eine andere, vergleichsweise einfache Methode ist die Fixierung der Volumen- und Masseänderung von Prismen (40 mm x 40 mm x 160 mm), die im Muffelofen einer Temperatur von 1000 °C über 90 min ausgesetzt werden.

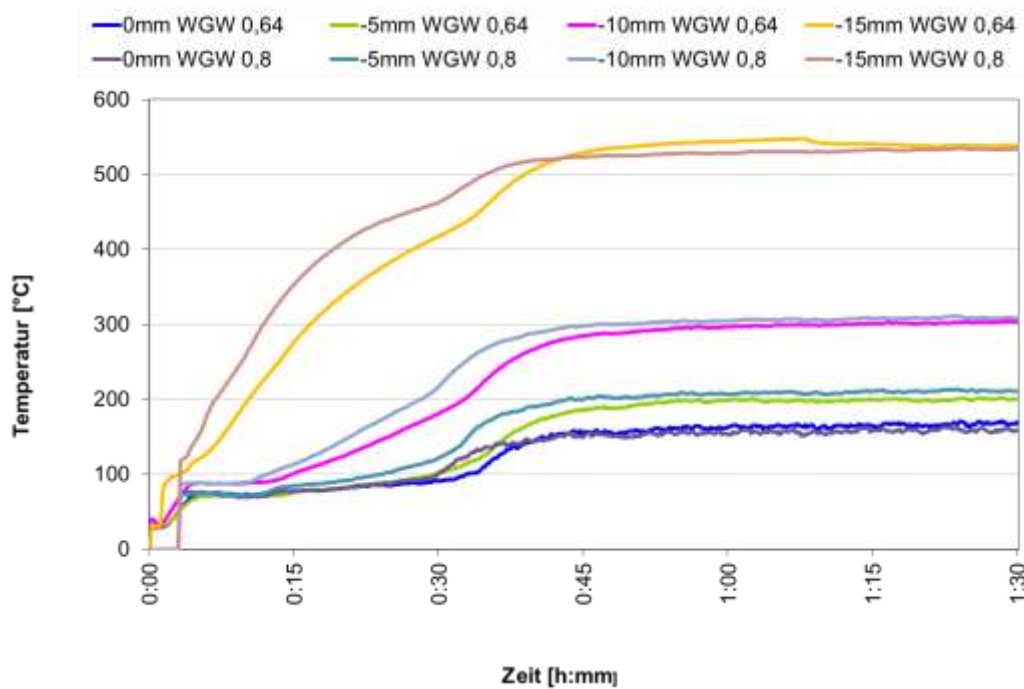
#### **4.3. Voruntersuchungen**

Zunächst galt es herauszufinden, welches Temperaturgefälle sich innerhalb der Platte ausbildet und ob Zusatzstoffe den Charakter dieser Gefällekurven merklich beeinflussen.

Hierzu wurde die Temperaturverteilung über den Plattenquerschnitt von zwei Platten auf Basis eines REA-Stuckgipses mit Wasserbindemittelwerten von 0,64 und 0,80 erfasst. Die erhaltenen Ergebnisse vermittelt Abbildung 10.



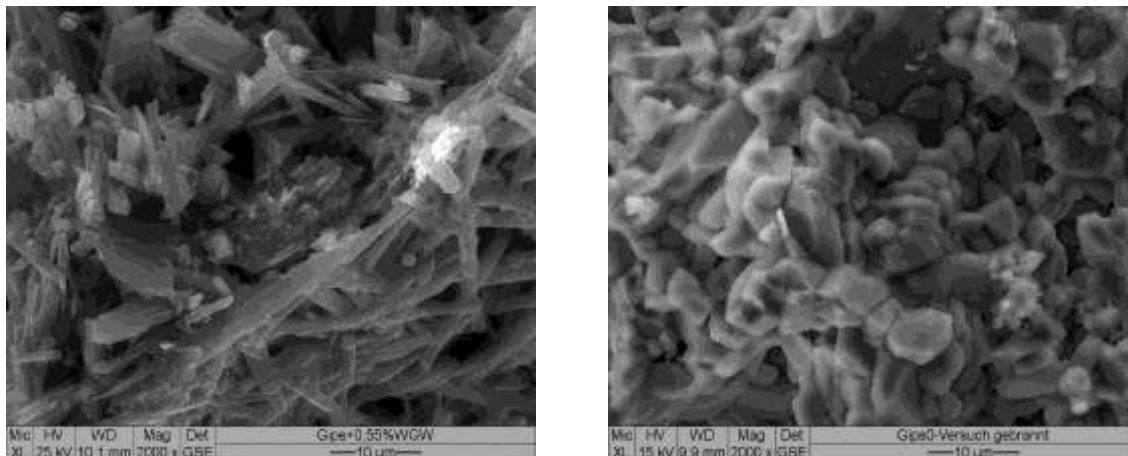
**Abbildung 10. Abhängigkeit der plattentiefenabhängigen Erwärmung von Gipsplatten vom WGW bei einseitiger Wärmebeanspruchung von 970 °C.**



**Abbildung 11. Zeitabhängige Temperaturverteilungskurven über den Plattenquerschnitt bei einseitiger Wärmebeanspruchung von 970 °C (WGW = 0,64).**

Abbildung 10 vermittelt den drastischen Temperaturabfall innerhalb der Gipsplatte. Selbst bei 90minütiger einseitiger Wärmeeinwirkung (970 °C) erwärmt sich die Platte in ihrer Mitte lediglich auf 300 °C, auf der Außenseite werden 200 °C nicht erreicht. Abbildung 11 zeigt für die einzelnen Plattentiefen gleichartige Temperaturverläufe trotz eines unterschiedlichen WGW.

Durch die starke Wärmeinwirkung während des Brandversuches kommt es zur Dehydratation des entstandenen Gipssteines. Der Zusammenhalt zwischen den ehemaligen Gipsnadeln des Gefüges geht verloren und die Folge ist eine Gefügeverdichtung die zwangsläufig zu einer Reduzierung der Raumausfüllung und in der Folge zu einer Volumenreduzierung führen muss. Die Abbildung 12 zeigt die Auswirkung der Wärmebeanspruchung einer Gipsplatte sehr deutlich.



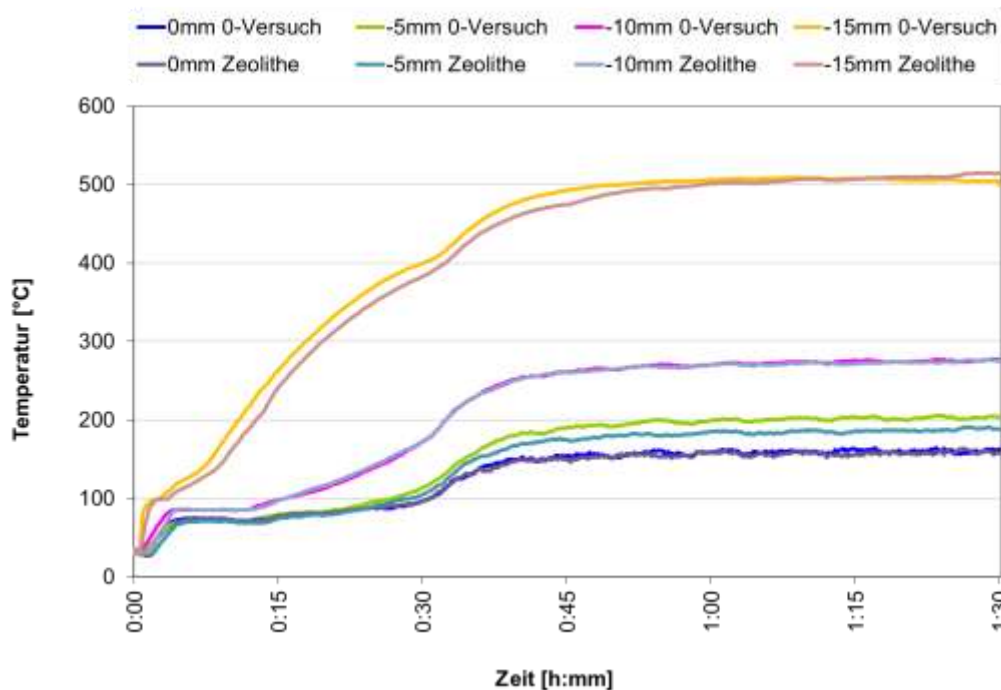
**Abbildung 12. Darstellung des Gefüges einer Gipsplatte (WGW 0,55) vor und nach der Wärmebeanspruchung (90 min, 970 °C).**

Im Weiteren wurde untersucht, ob dieser Sachverhalt auch bei Zugabe ausgewählter mineralischer Stoffe zutreffend ist. So wurden den Gipsplatten bei der Herstellung jeweils:

- 0,76 % Glasfasern,
- 1 % Vermiculite,
- 20 % Rohperlite sowie
- 10 % synthetische Zeolithe

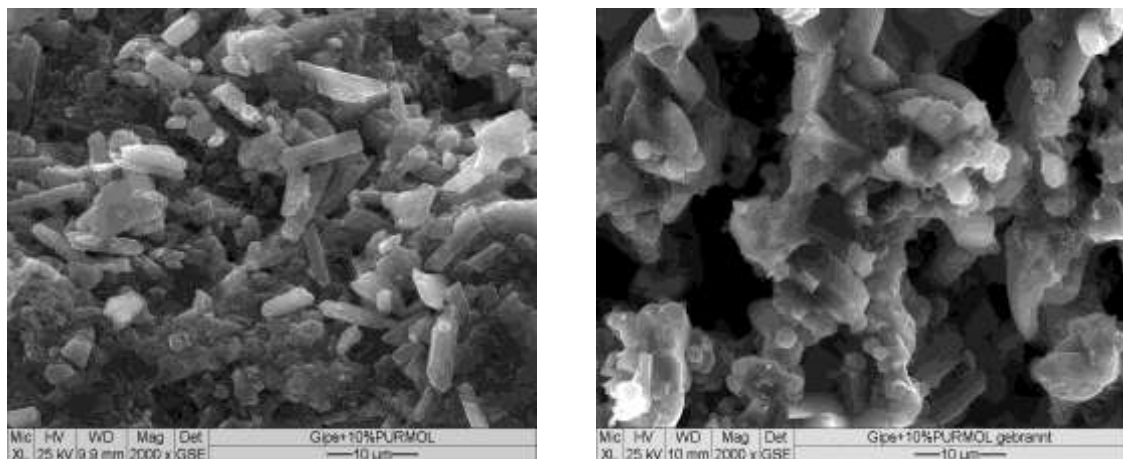
beigegeben.

Die Untersuchung der plattentiefenabhängigen Temperaturverläufe bei Zugabe des synthetischen Zeoliths 'Purmol 13' zeigt im Rahmen der Genauigkeit identisches Verhalten zur Probe ohne Zusatzstoff (Abbildung 13).



**Abbildung 13.** Beeinflussung der plattentiefenabhängige Erwärmung von Gipsplatten durch Zugabe des synthetischen Zeoliths 'Purmol 13' bei einseitiger Wärmebeanspruchung von 970 °C.

Auch hier zeigen elektronenmikroskopische Untersuchungen eine Verdichtung (Verklumpung) der ehemaligen gut ausgebildeten Gipskristalle.



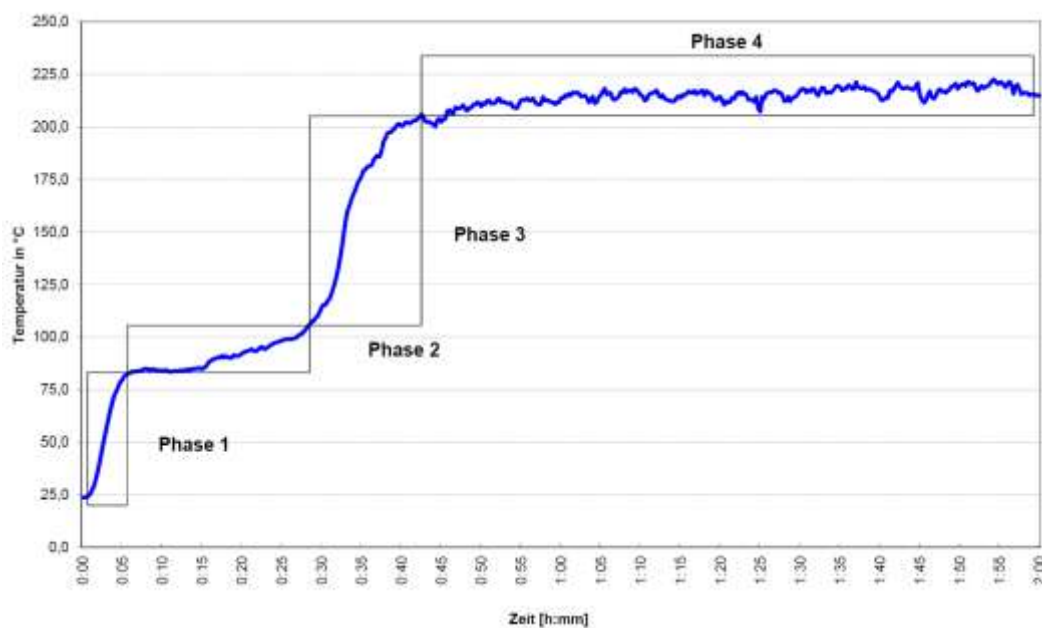
**Abbildung 14.** Darstellung des Gefüges einer Gipsplatte mit 10 % des Zeoliths 'Purmol 13' vor und nach der Wärmebeanspruchung (90 min, 970 °C).

Bei den übrigen zugegebenen Stoffen (siehe Anlage A III) konnten ebenfalls keinerlei Veränderungen bei der Erwärmung der Platten über den Querschnitt festgestellt werden. Daher ist es ausreichend, sich bei den nachfolgenden

Untersuchungen auf die Veränderung der Plattenrückseitentemperatur zu beschränken.

Die Abbildung 15 zeigt einen typischen Verlauf der Plattenaußenseitentemperatur als Funktion der Zeit. Eine quantitative Auswertung ist nicht trivial. Zwecks qualitativer Charakterisierung von Einflüssen wurde der Verlauf der Temperatur-Zeit-Kurve zweckmäßigerweise in 4 Abschnitte (Phasen) unterteilt.

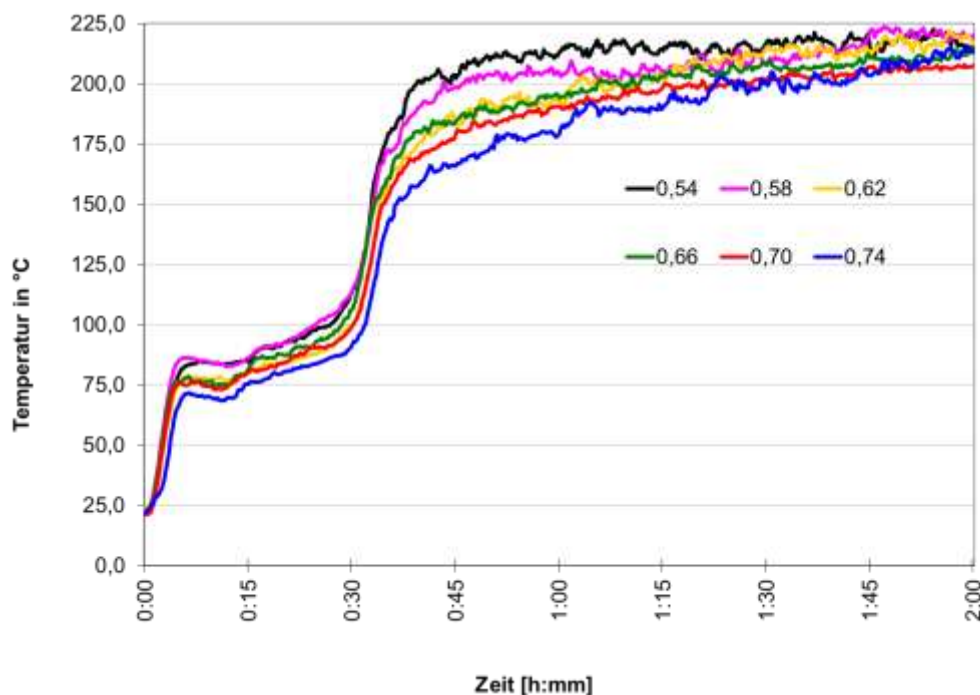
Die erste Phase beschreibt die rasche Erwärmung der Probe. Dem schließt sich ein Abschnitt mit nahezu unveränderlicher Temperatur (Plateauphase) an. Diese resultiert aus dem Wärmeverbrauch für die Calcination des Gipses und der ev. vorhandenen wasserhaltigen Zusätze. Die dritte Phase charakterisiert den Erwärmungsvorgang der nunmehr entwässerten Gipsplatte. Der sich anschließende vierte Abschnitt führt zu einer mehr oder weniger deutlichen Temperaturkonstanz (Maximaltemperatur), da zugeführte und abgegebene Wärme (einschließlich Risswirkung) nahezu gleich groß sind.



**Abbildung 15. Formale Unterteilung der Temperatur-Zeit-Kurve von Gipsplatten bei Wärmebeanspruchung in Phasen.**

#### 4.4. Einfluss des Wasser-Gips-Wertes (WGW)

Die durchgeführten Untersuchungen (Abbildung 16) unter Anwendung eines Stuckgipses auf Basis eines REA-Gipses ergaben, dass mit zunehmendem WGW im Bereich 0,54 - 0,74 der Anstieg der Temperatur der Plattenaußenseite langsamer verläuft.



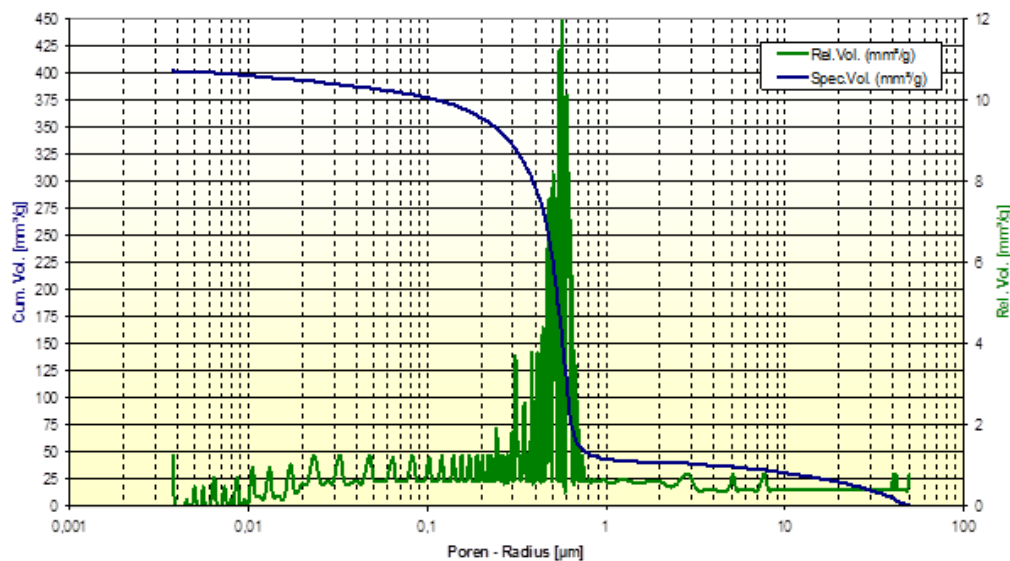
**Abbildung 16. Temperaturverlauf von Platten, hergestellt mit unterschiedlichen Wasser-Gips-Werten (Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses).**

In den ersten fünf Minuten (Phase 1) des Brennversuchs steigt die Temperatur aller Probekörper rasch an, wobei sich anschließend ein erstes Plateau ausbildet (zweite Phase). Die einzelnen hierfür charakteristischen Temperaturen werden vom WGW bestimmt. So lassen sich für die beiden 'extremen' WGW Temperaturen von  $T = 67\text{ °C}$  (WGW = 0,74) und  $T = 79,6\text{ °C}$  (WGW = 0,54) ermitteln. Im weiteren Versuchsverlauf bleiben diese Unterschiede bestehen. Zum Ende der zweiten Phase liegen die Temperaturen der Prüfkörper entsprechend bei  $92\text{ °C}$  und  $114\text{ °C}$ . Innerhalb einer weiteren Versuchsdauer von 10 Minuten (dritte Phase) erreichen die Temperaturen der Versuchsplatten Werte zwischen  $157\text{ °C}$  (WGW = 0,74) und  $200\text{ °C}$  (WGW = 0,54).



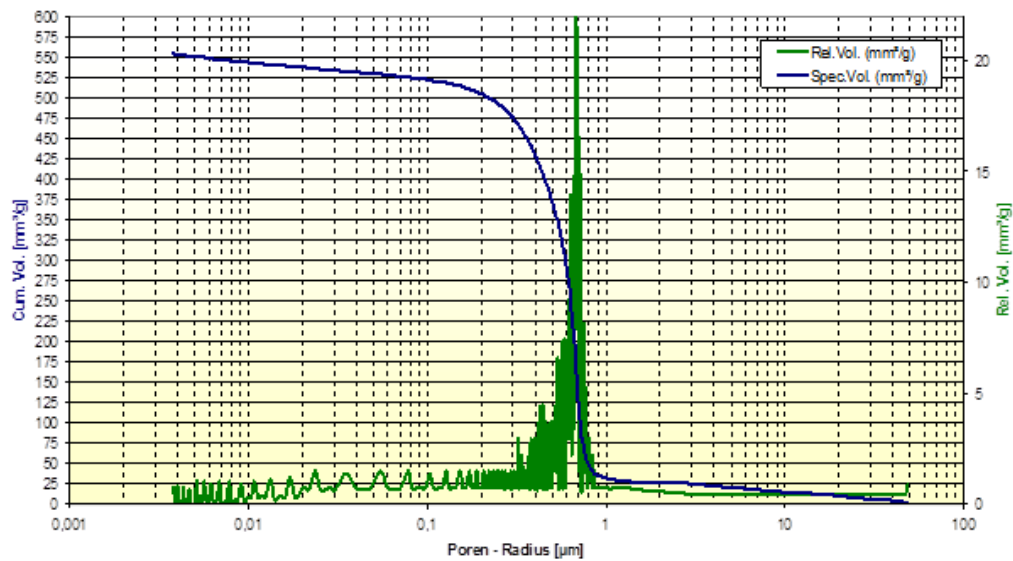
Die Unterschiede im Temperaturverlauf lassen sich auf die unterschiedlichen Rohdichten der Versuchskörper und damit deren Porenvolumina zurückführen. Ein höherer WGW bedingt zwangsläufig mehr Poren im Versuchskörper, da überschüssiges, nicht zur Hydratation benötigtes Wasser, verdunstet.

Um diese Kausalität zu bestätigen, wurden die Porenvolumina der beiden extremen Wasserbindemittelwerte per Quecksilberporosimetrie charakterisiert.



**Abbildung 17. Porenraum und Porengrößenverteilung einer Gipsplatte mit WGW = 0,54 (Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses).**





**Abbildung 18. Porenraum und Porengrößenverteilung einer Gipsplatte mit WGW = 0,74 (Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses).**

Der Abbildung 17 und 18 sind folgende Vergleichswerte zu entnehmen (Wasser-Gips-Wert von 0,54 dem 0,74 gegenübergestellt): Porengesamtvolumen 400 mm<sup>3</sup>/g zu 550 mm<sup>3</sup>/g bei durchschnittlichem Porenradius von 0,52 µm zu 0,61 µm. Die spezifischen Oberflächen betrugen dabei 4,98 m<sup>2</sup>/g bzw. 7,75 m<sup>2</sup>/g. Die unterschiedliche Porosität der Platten beeinflusst somit den Wärmetransport.

Die visuelle Beurteilung des Rissbildes der Platten belegt diesen Zusammenhang ebenfalls (Abbildung 19 und 20). Je größer das Porenvolumen, desto langsamer verläuft der Wärmetransport zur Plattenaußenseite und desto homogener wird die sich bildende Rissstruktur. Ein schneller Wärmetransport (geringere Porosität) führt zu breiteren und größeren Rissen (Abbildung 19).



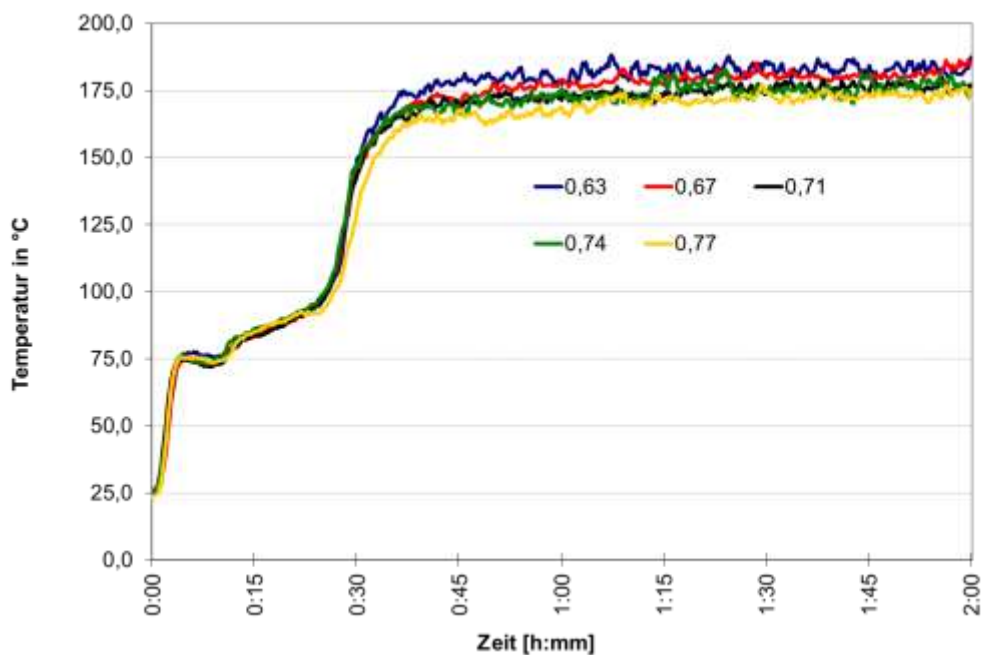
**Abbildung 19. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite bei einem WGW = 0,54 (Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses).**



**Abbildung 20. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite bei einem WGW = 0,74 (Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses).**

#### **4.5. Einfluss des Bindemittels**

Wird der Stuckgips zur Herstellung der Platte auf Basis eines Naturgipses (im Vergleich zum REA-Gips) erbrannt, so ist der Einfluss des WGW weit weniger ausgeprägt. Im Verlauf der Aufheizphase zeigen sich kaum Differenzen, lediglich die erreichten 'Endtemperaturen' sind mit 170 °C (WGW = 0,77) und 180 °C (WGW = 0,63) verschieden (Abbildung 21).



**Abbildung 21. Temperaturverlauf von Platten, hergestellt mit unterschiedlichen Wasser-Gips-Werten (Stuckgips auf Basis eines Naturgipses).**

Der Einfluss der WGW auf die sich bildende Rissstruktur in den Versuchskörpern ist ähnlich wie bei den Prüflingen aus REA-Gips. Auch hier ist das Rissbild bei Platten mit höherem WGW homogener.

Beim Vergleich der Rissbilder in Platten aus REA- und Naturgips fällt auf, dass diese bei den Naturgipsplatten deutlich homogener und weniger „auffällig“ sind, als bei den Probekörpern aus REA-Gips, was auf die engere Korngrößenverteilung des REA-Gipses zurückzuführen sein dürfte.



**Abbildung 22. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite bei einem WGK = 0,63 (Stuckgips auf Basis eines Naturgipses).**

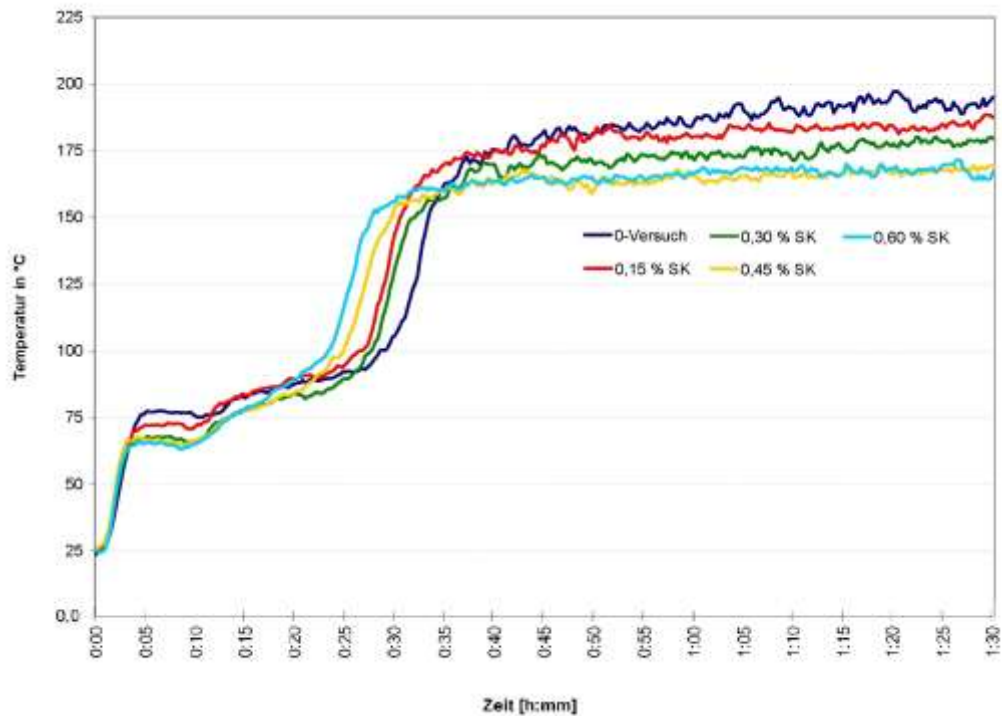


**Abbildung 23. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite bei einem WGK = 0,77 (Stuckgips auf Basis eines Naturgipses).**

#### **4.6. Der Einfluss von Tensiden auf das Porengefüge von Versuchsproben und auf die Wärmeleitfähigkeit bei Wärmebeanspruchung.**

Beim Einsatz von Netzmitteln bzw. Tensiden in der Gipsplattenherstellung entstehen zusätzliche Poren im Plattengefüge. Die Herstellung des Schaums erfolgt durch 3minütiges Mischen (Kitchen-Aid; höchste Mischintensität) des Schaumkonzentrats und des Stabilisators mit dem gesamten Wasser, das zum Anrühren des Stuckgipses benötigt wird. Der so erzeugte Schaum ist sehr stabil, weist eine kleine Porengröße auf und dient zum Herstellen des Gipsbreies.

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen mit unterschiedlichem WGW ist zu erwarten, dass die Zugabe von Schaumbildnern ebenfalls eine geringere Erwärmung der Plattenaußenseite bewirkt. Abbildung 24 bestätigt diese Vermutung: je höher die Konzentration des Netzmittels (und damit desto niedriger die Rohdichte der Probe und je größer ihr Porenanteil), desto niedriger die maximale Temperatur der Plattenaußenseite. Der Abbildung 24 ist aber auch eine wesentliche Besonderheit zu entnehmen: ein beschleunigter Temperaturanstieg des Versuchskörpers nach der Entwässerung der Probe. Für diesen Effekt gibt es mehrere Ursachen: Es muss je Volumeneinheit weniger Wasser verdampft und weniger Gips erwärmt werden. Gleichzeitig wird ein schnellerer Wasserdampftransport im grobporigen System möglich.



**Abbildung 24. Temperaturverlauf von Platten, hergestellt mit unterschiedlichen Anteilen an Schaumkonzentrat (WGW = 0,64, Stuckgips auf Basis eines REA-gipses).**

Die Schrumpfung ist bei den Platten mit Schaum nicht wesentlich höher als bei den Platten ohne Schaum. Sie beträgt längs 1,5 - 2,0 % und quer 2,0 – 2,7 %. Der Gewichtsverlust beläuft sich bei allen Platten auf ca. 19 – 20 %. Die Schüsselung nimmt mit zunehmender Menge an Schaumkonzentrat zu und liegt bei  $\geq 1,00$  mm.

Bei den Platten mit Schaum sind weniger und kleinere Risse zu sehen als bei den Platten ohne Schaum. Je mehr Schaumkonzentrat eingesetzt wird, umso weniger Risse bilden sich und umso kleiner sind diese. Die mechanische Stabilität der Platten mit Schaumzusatz ist nach der Hitzeeinwirkung im Gegensatz zu einer Platte ohne Schaum höher. Unterschiede bei der Stabilität der Platten mit unterschiedlicher Schaumkonzentration sind jedoch mit den zur Verfügung stehenden Messgeräten nicht feststellbar (Abbildung 25 und 26).



**Abbildung 25. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite, gefertigt ohne Schaumkonzentrat (WGW=0,64, Rohdichte=1139 kg/m<sup>3</sup>, Stuckgips auf Basis eines REA-gipses).**



**Abbildung 26. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite, gefertigt mit 0,6 % Schaumkonzentrat (WGW =0,64, Rohdichte=675 kg/m<sup>3</sup>, Stuckgips auf Basis eines REA-gipses).**



## 5. Zusatzstoffe und ihre Wirkungsweise

Um die Eigenschaften der Gipsplatten während einer Brandbeanspruchung zu verbessern, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Wesentlich nutzbare Effekte, die durch Zusatzstoffe hervorgerufen werden können, sind:

- Ablauf endothermer Reaktionen,
- Verringerung der thermischen Leitfähigkeit,
- Verminderung der Schrumpfung,
- Verbesserung des Zusammenhaltes der Gipssteinmatrix.

### 5.1. Kühlungseffekt durch endotherme Reaktionen bzw. Zersetzungsreaktionen

Durch Zusatz kristallwasserreicher Additive steigt der Anteil von Kristallwasser in einer Gipsplatte. Da die thermische Entwässerung endotherm verläuft, steigt mithin die Energiedissipation im Brandfall. Daher verläuft der Temperaturanstieg auf der von Feuer nicht beeinflussten Seite zwangsläufig langsamer (Abbildung 27). Additive, die einem hohen Kristallwasseranteil haben, sind beispielsweise Alaune oder Ettringit.

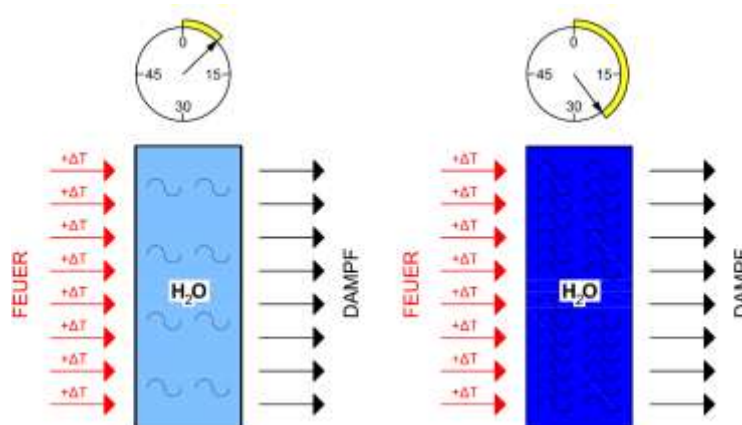


Abbildung 27. Schema der Wirkweise von Zusatzstoffen mit hohem Kristallwassergehalt.



## 5.2. Verminderung der thermischen Leitfähigkeit durch porenbildende Zusatzstoffe

Durch einem höherem Porenanteil des Plattenkerns sinkt deren thermische Leitfähigkeit. Dies kann durch die Zugabe von bei hohen Temperaturen expandierenden Stoffen, wie Perlite, Vermiculite oder durch Tenside, erreicht werden. Abbildung 28 zeigt schematisch eine derartige Wirkungsweise.

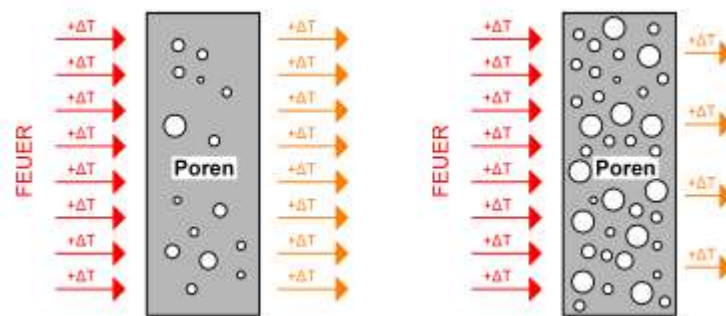


Abbildung 28. Schema der Wirkweise von porenbildenden Zusatzstoffen.

## 5.3. Verringerung des Schrumpfungsverhaltens durch expandierende Zusatzstoffe

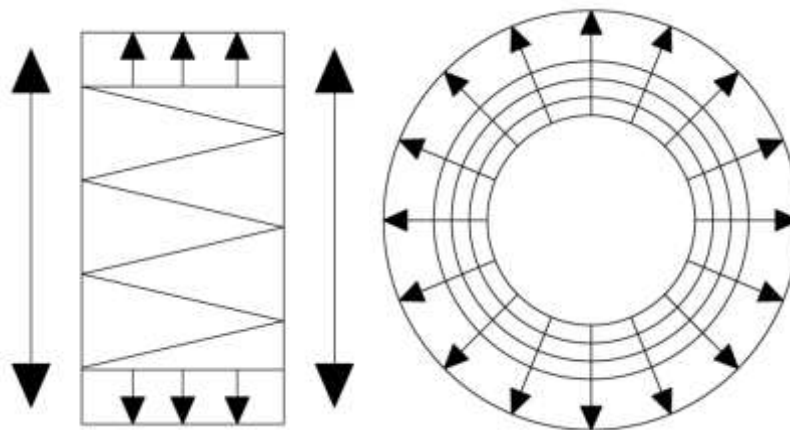


Abbildung 29. Expansionsschema von Vermiculiten (links) und Perliten (rechts).

Nach der Entwässerung einer Gipsplatte kollabiert der zurückbleibende Plattenkern infolge einer deutlichen Volumenabnahme (Schrumpfen). Diesem Schrumpfen kann man durch Zusatz von Stoffen, die bei Erwärmung

expandieren, entgegen wirken. Beispielhaft hierfür sind radialsymmetrisch expandierende Perlite oder auch Vermiculite, die jedoch gerichtet expandieren.

#### **5.4. Verbesserung der integralen Stabilität von Gipsplatten**

Nach der Temperaturbeanspruchung einer Gipsbauplatte weist diese eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Rissstruktur auf. Dadurch sinkt deren Zusammenhalt, ein Abfallen von Teilen bis zum völligen Zerfall wird möglich. Durch Zugabe von rissüberbrückenden aus nichtbrennbarem Material bestehenden Fasern (beispielhaft seien hier Glas- und Gesteinsfasern genannt) wird diese abnehmende Stabilität (teilweise) kompensiert.



**Abbildung 30. Schema der Wirkweise der Glasfasern.**

#### **6. Auswirkungen von Zusatzstoffen bei Brandbeanspruchung im Laborversuch**

Nachfolgend sollen die Auswirkungen einzelner Zusatzstoffe auf Gipsplatten bei Brandbeanspruchung untersucht werden. Die Zusatzstoffe wurden unter folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- zu erwartender Effekt nach vorher gehendem Abschnitt,
- ausreichende Verfügbarkeit,
- kein übermäßiger Kostenzuwachs.

Betrachtet wurden im einzelnen Zeolithe, Ettringit, Vermiculit, Perlit, Wollastonit, Kalkstein, Quarz, Trass, Feldspat, Ton, Anhydrit und Phonolith.

**Tabelle 2. Auflistung der erwarteten bevorzugte Wirkung der Zusatzstoffen.**

Zusatzstoffe	Erwartete bevorzugte Wirkung der Zusatzstoffe				
	endotherme Reaktion	Porenbildung	Expansion	Verbundwirkung	Schrumpfungsminderung
Zeolithe				+	
Ettringit	+				
Schaumkonzentrat		+			
Kalkstein					+
Glasfasern				+	
Vermiculite			+		

Beispielhaft werden nachfolgend die Ergebnisse von je einem prägnanten Vertreter hinsichtlich der bevorzugten Wirkung aufgeführt und kurz erläutert. Die Resultate der Untersuchungen mit weiteren Zusatzstoffen sind der Anlage A V zu entnehmen.

Die dafür notwendigen Platten wurden aus einem Stuckgips auf Basis eines REA-Gipses gefertigt. Der jeweilige Wasserbedarf (Wasser-Feststoff-Wert=WFV) ist den Tabellen zu entnehmen.

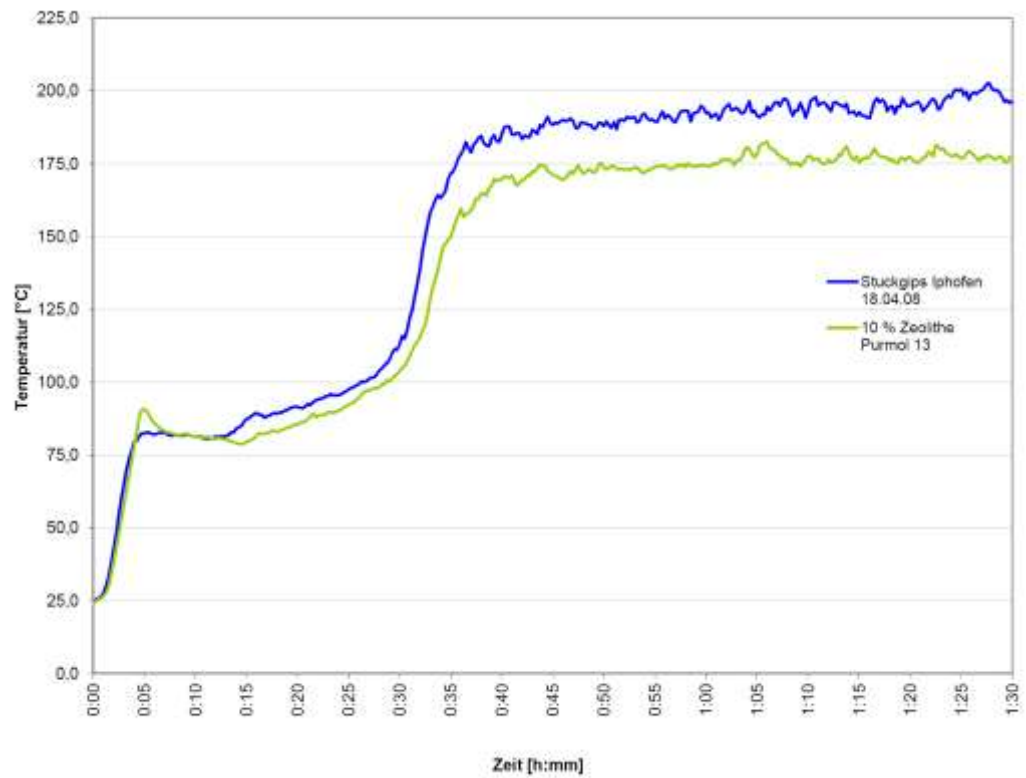
## 6.1. Synthetischen Zeolithe

Zeolithe gehören zur Stoffgruppe der Alumosilikate, die in zahlreichen Modifikationen in der Natur vorkommen, aber auch synthetisch hergestellt werden können. Purmol 13 ist ein synthetischer Zeolith bestehend aus kristallinen Alkali-Aluminium-Silicaten. Herausforderung für Baustoffe der Zukunft ist die Verbesserung der Raumluftqualität. Von Gipsplatten mit Zeolithen werden folgende Wirksamkeiten erwartet:

- Zersetzung von Formaldehyd,
- Zersetzung von Benzol,
- Zersetzung von Ammoniak,
- Verringerung des „Rauchgeruches“.

In der ersten und zweiten Phase der Wärmedurchgangsmessung liegt die Temperatur durch die Zugabe von 10 % 'Purmol 13' um 2... 4 °C niedriger. Die dritte Phase der Temperatur-Zeit-Kurve tritt ca. 2 Minuten später ein. Die maximale Temperatur liegt gegenüber der Referenzprobe ungefähr 15 °C niedriger.

Die Risse sind bei allen Platten und Prismen so fein und klein, dass sie kaum sichtbar sind. Beim Abkühlen entstehen bei den Platten jedoch große Spannungsrisse. Entlang dieser Risse brechen die Platten bei kleiner mechanischer Belastung. Abgesehen davon sind die Platten sehr stabil. Die Prismen, bei denen die Spannungsrisse nicht auftreten, sind sehr stabil und brechen nicht. Die Schrumpfung der Prüfkörper infolge Brandbeanspruchung ist nahezu gleich, bei Zusatzstoffzugabe tendenziell etwas geringer.



**Abbildung 31. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von 10 % synthetischem Zeolith „Purmol“ 13.**

**Tabelle 3. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne synthetische Zeolithe (Purmol 13).**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Zeolithe Purmol 13	Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Zeolithe Purmol 13
WFW		0,61	0,64		
Anrührzeiten	s	15 s Einstreuen - 15 s Sumpfen - 30 s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	196,0
Breite		150,0	150,0	147,0	146,0
Dicke		20,3	20,2	19,3	19,3
Schüsselung		keine		> 1,00	>1,00
Gewicht	g	719,3	687,2	575,8	551,1
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1128,4	1025,1	997,8
Gewichtsverlust	g			143,5	136,1
	%			19,9	19,8
Schrumpfung längs				1,5	2,5
Schrumpfung quer				2,0	2,7

**Tabelle 4. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne synthetische Zeolithe (Purmol 13).**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Zeolithe Purmol 13	Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Zeolithe Purmol 13
WFW		0,61	0,64		
Länge	mm	160,5	160,5	145,0	146,5
Breite		40,0	40,0	33,5	34,0
Höhe		40,2	40,5	33,5	34,0
Gewicht	g	305,5	291,7	239,6	229,1
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1122,0	1472,1	1352,9
Gewichtsverlust	g			66,0 zł	62,6 zł
	%			21,6	21,5
Schrumpfung Länge				9,7	8,7
Schrumpfung Breite				16,3	15,0
Schrumpfung Höhe				16,7	16,0

## 6.2. Gipsbauteile mit Ettringit

Ettringit zeichnet sich durch einen sehr hohen Kristallwassergehalt aus. Daher ist zu erwarten, dass im Brandfall dem Gipskörper verstärkt Wärme entzogen wird. Im Ergebnis der durchgeführten Brandversuche lässt sich folgendes feststellen. In der ersten Phase der Erwärmung steigt die Temperatur bei Versuchsplatten, denen 5 % Ettringit zugesetzt wurde, nur auf 74 °C, während sie bei Platten ohne Zusatz 82 °C beträgt. In der zweiten Phase liegt die Temperatur beim ettringithaltigen Probekörper stets ca. 10 °C unterhalb der Vergleichsprobe. Daher setzt die dritte Phase auch erst ca. 3 Minuten später ein. Das führt andererseits dazu, dass die Temperaturen der Platten sich zu gleichen Zeitpunkten um 15 – 30 °C unterscheiden. Zu späteren Messzeitpunkten verringert sich der Temperaturunterschied stetig.

Die ettringithaltige Probe hat bei Brandbeanspruchung einen ca. 1 % höheren Gewichtsverlust. Die Stabilität der Platten und Prismen wird durch Zugabe von Ettringit eher negativ beeinflusst, da die Risse etwas größer und tiefer werden. Auf die Kontraktion hat Ettringit ebenfalls keinen positiven Einfluss.

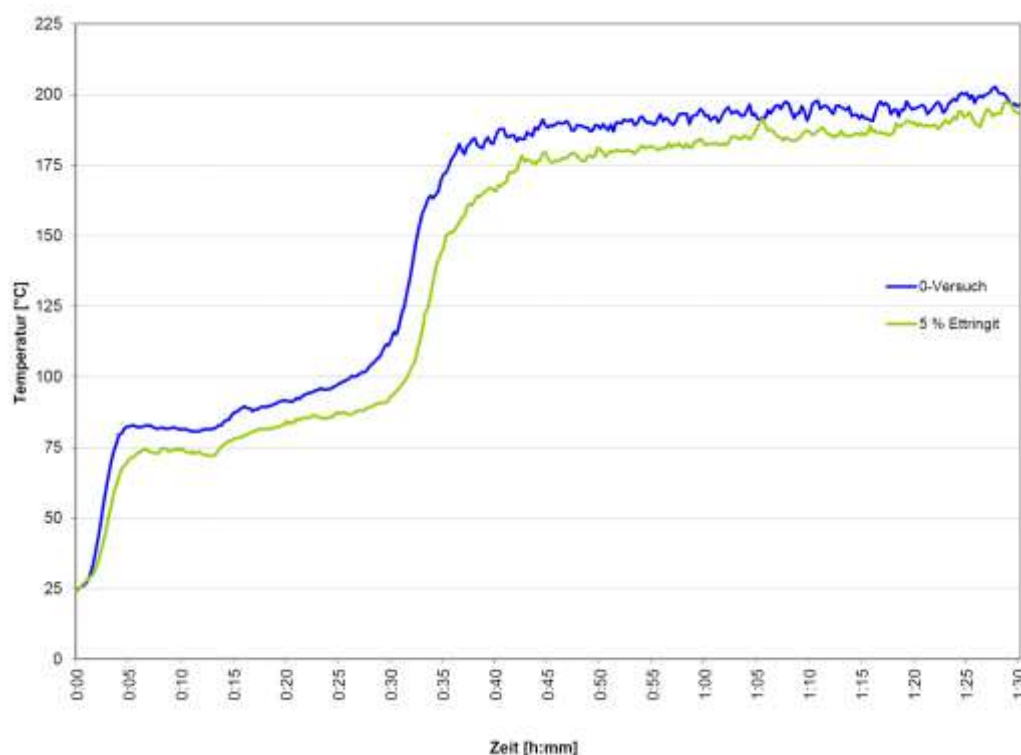


Abbildung 32. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von 5 % Ettringit.

**Tabelle 5. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Ettringit.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Ettringit	Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Ettringit
WFW		0,61	0,61		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren (mit Schneebeesen)			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	197,0
Breite		150,0	150,0	147,0	147,0
Dicke		20,3	20,1	19,3	19,0
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	719,3	702,9	575,8	560,5
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1159,9	1025,1	1018,7
Gewichtsverlust	g			143,5	142,4
	%			19,9	20,3
Schrumpfung längs				1,5	2,0
Schrumpfung quer				2,0	2,0

**Tabelle 6. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Ettringit.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Ettringit	Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Ettringit
WFW		0,61	0,61		
Länge	mm	160,5	160,2	145,0	145,0
Breite		40,0	40,0	33,5	33,0
Höhe		40,2	40,2	33,5	33,5
Gewicht	g	305,5	299,7	239,6	231,6
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1163,6	1472,1	1444,9
Gewichtsverlust	g			66,0	68,1
	%			21,6	22,7
Schrumpfung Länge				9,7	9,5
Schrumpfung Breite				16,3	17,5
Schrumpfung Höhe				16,7	16,7



### 6.3. Gipsbauteile mit expandierten Perliten

Perlite sind natürlich vorkommende Alumosilikate vulkanischen Ursprungs, bei deren Wärmebehandlung eine Expansion auf das ca. 20-fache des Ursprungsvolumens erfolgt.

Durch die Zugabe von geblähten Perliten zu entsprechenden Prüfkörpern liegt die maximale Temperatur 20 °C niedriger als bei der Vergleichsprobe. Die Risse werden sowohl bei den Platten als auch bei den Prismen durch die Zugabe der Perlite kleiner. Bezüglich des Schrumpfungsverhaltens sind kaum Unterschiede festzustellen.

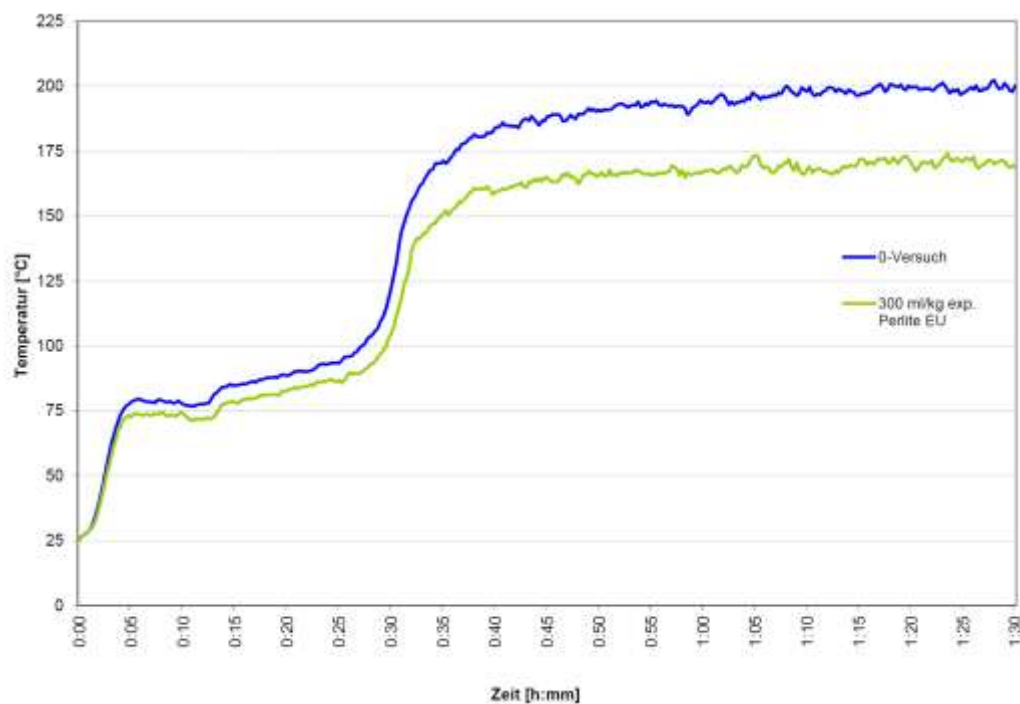


Abbildung 33. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von geblähten Perliten.

**Tabelle 7. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne geblähte Perlite.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	300 ml/kg geblähte Perlite EU	Stuckgips lphofen 18.04.08	300 ml/kg geblähte Perlite EU
WFW		0,61	0,66		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke		20,2	20,4	19,2	19,5
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	632,3	570,9	508,2
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1027,9	1018,0	892,4
Gewichtsverlust	g			140,1	124,0
	%			19,7	19,6
Schrumpfung längs				1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	1,7

**Tabelle 8. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne geblähte Perlite.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips lphofen 16.06.08	300 ml/kg geblähte Perlite Eu	Stuckgips lphofen 16.06.08	300 ml/kg geblähte Perlite Eu
WFW		0,62	0,66		
Länge	mm	160,2	160,3	145,0	144,0
Breite	mm	40,0	40,0	33,0	33,5
Höhe	mm	40,5	40,5	33,0	33,0
Gewicht	g	301,7	271,3	236,1	212,6
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1044,6	1495,1	1335,7
Gewichtsverlust	g			65,6	58,6
	%			21,7	21,6
Schrumpfung Länge	%			9,5	10,2
Schrumpfung Breite	%			17,5	16,3
Schrumpfung Höhe	%			18,5	18,5

#### 6.4. Gipsbauteile bei Wollastonitzugabe

Wollastonit ist ein Calciumsilikat,  $\text{CaSiO}_3$ , das in der Erdkruste ubiquitär vorhanden ist [5]. Die Zugabe von Wollastonit sollte sich bei Temperaturbeanspruchung gefügestabilisierend auswirken.

Bei einer Einsatzmenge von 5 % Wollastonit wird das Temperaturmaximum bei der Wärmedurchgangsmessung um ca.  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  verringert. Die Risse in der Versuchsplatte sind nach der Temperatureinwirkung genauso tief, aber es sind nur sehr wenige Risse vorhanden. Somit ist die Platte wesentlich stabiler als eine Platte aus reinem Gips. Das Prisma mit 5 % Wollastonit ist nach Brandbeanspruchung sehr stabil und weist kaum Risse auf. Diese Zunahme der Stabilität ist wahrscheinlich auf die Nadelform des Wollastonits zurückzuführen. Bei der Schüsselung und dem Gewichtsverlust sind keine Auffälligkeiten zu beobachten. Die Schrumpfung wird durch Zugabe von 5 % Wollastonit geringfügig verringert.

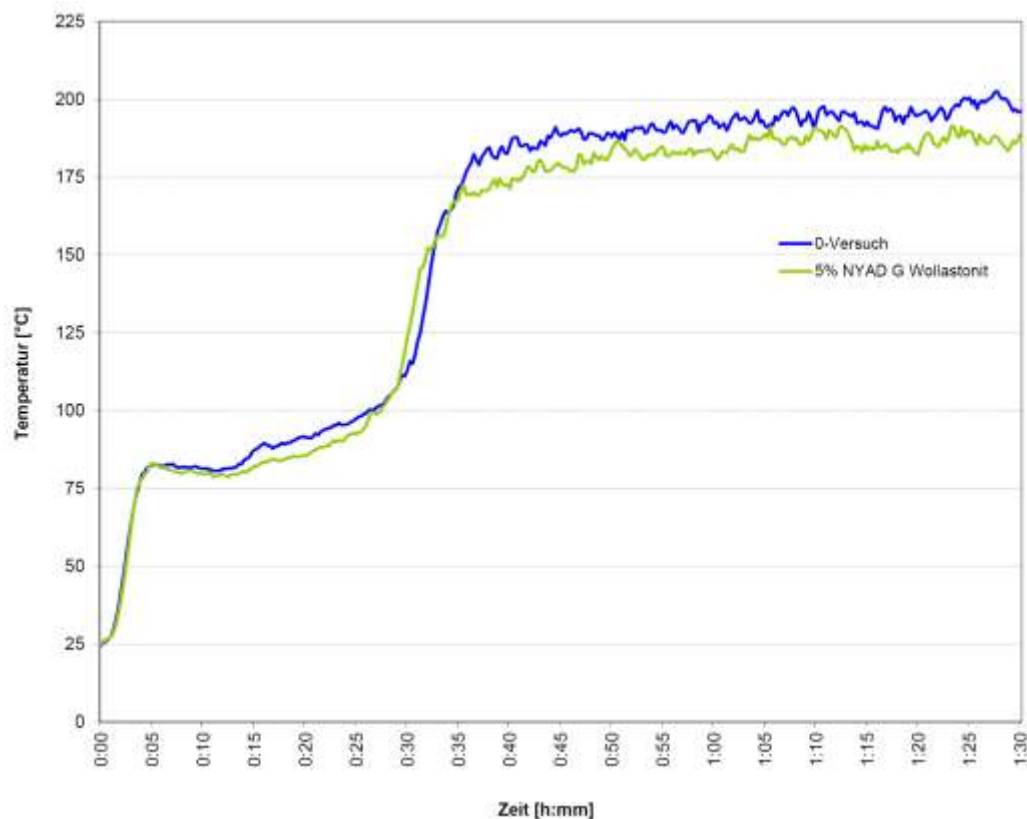


Abbildung 34. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Wollastonit.

**Tabelle 9. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Wollastonit.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	5 % NYAD G Wollastonit	Stuckgips lphofen 18.04.08	5 % NYAD G Wollastonit
WFW		0,61	0,62		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,0	150,0	147,0	148,5
Dicke		20,3	20,0	19,3	19,4
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	719,3	705,3	575,8	571,4
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1169,7	1025,1	1001,7
Gewichtsverlust	g			575,8	571,4
	%			143,5	133,9
Schrumpfung längs				1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	1,0

**Tabelle 10. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Wollastonit.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	5,0 % NYAD G Wollastonit	Stuckgips lphofen 18.04.08	5,0 % NYAD G Wollastonit
WFW		0,61	0,62		
Länge	mm	160,5	160,5	145,0	149,0
Breite		40,0	40,0	33,5	34,5
Höhe		40,2	40,5	33,5	35,0
Gewicht	g	305,5	303,4	239,6	240,6
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1166,9	1472,1	1337,2
Gewichtsverlust	g			66,0	62,8
	%			21,6	20,7
Schrumpfung Länge				9,7	7,2
Schrumpfung Breite				16,3	13,8
Schrumpfung Höhe				16,7	13,6

## 6.5. Bauteile bei Zugabe von Anhydrit

Da Anhydrit ein wasserfreies Calciumsulfat ist, vermindert sich bei dessen Zugabe somit der Anteil verdampfenden Wassers. Daher beginnt die dritte Phase der Temperatur-Zeit-Kurve bei Platten mit 30 % Anhydrit ungefähr acht bis neun Minuten früher als bei der Referenzprobe. Die Erwärmung in den ersten zwei Phasen ist hingegen nicht betroffen. Die maximal erreichte Temperatur liegt ca. 5 °C höher als beim Nullversuch, was wahrscheinlich auf die höhere Plattendichte zurück zu führen ist. Der beobachtete Temperaturverlauf ist unabhängig von der Körnung des Anhydrits.

Die Risse in der Platte und im Prisma mit Anhydritkörnung sind nach der Hitzeeinwirkung jedoch wesentlich kleiner und deutlich weniger zahlreich als bei dem Probekörper ohne Zusatzstoff. Somit waren die Probekörper mit Anhydritkörnung auch wesentlich stabiler als die Probekörper aus reinem Gips. Das Schrumpfungsverhalten wird unwesentlich beeinflusst.

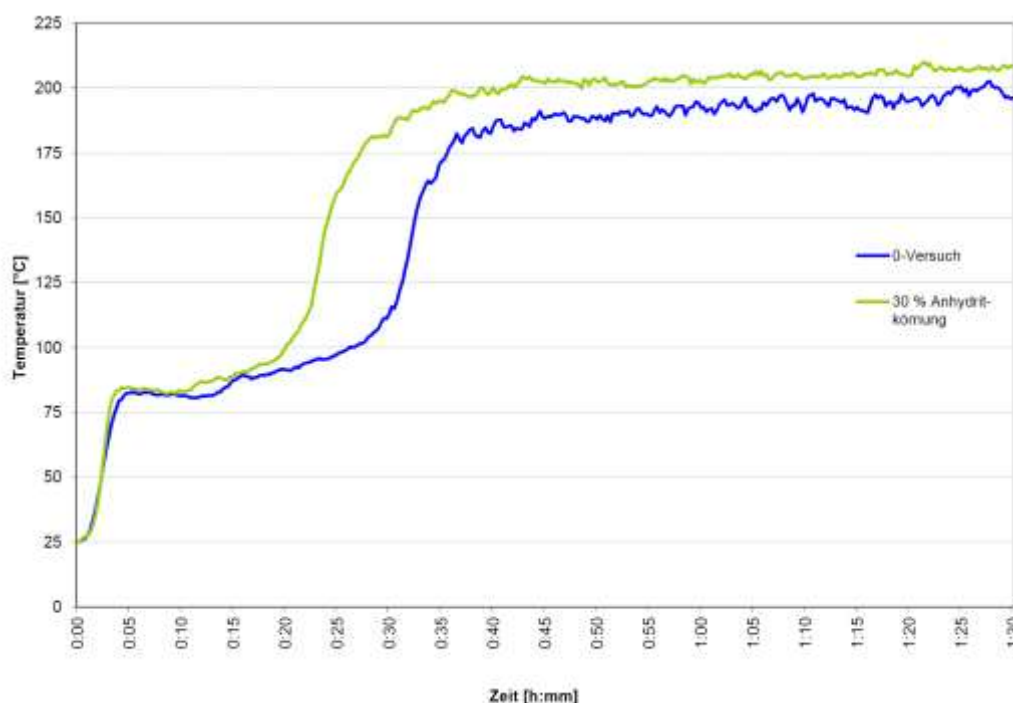


Abbildung 35. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe einer Anhydritkörnung.

**Tabelle 11. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Anhydritkörnung.**

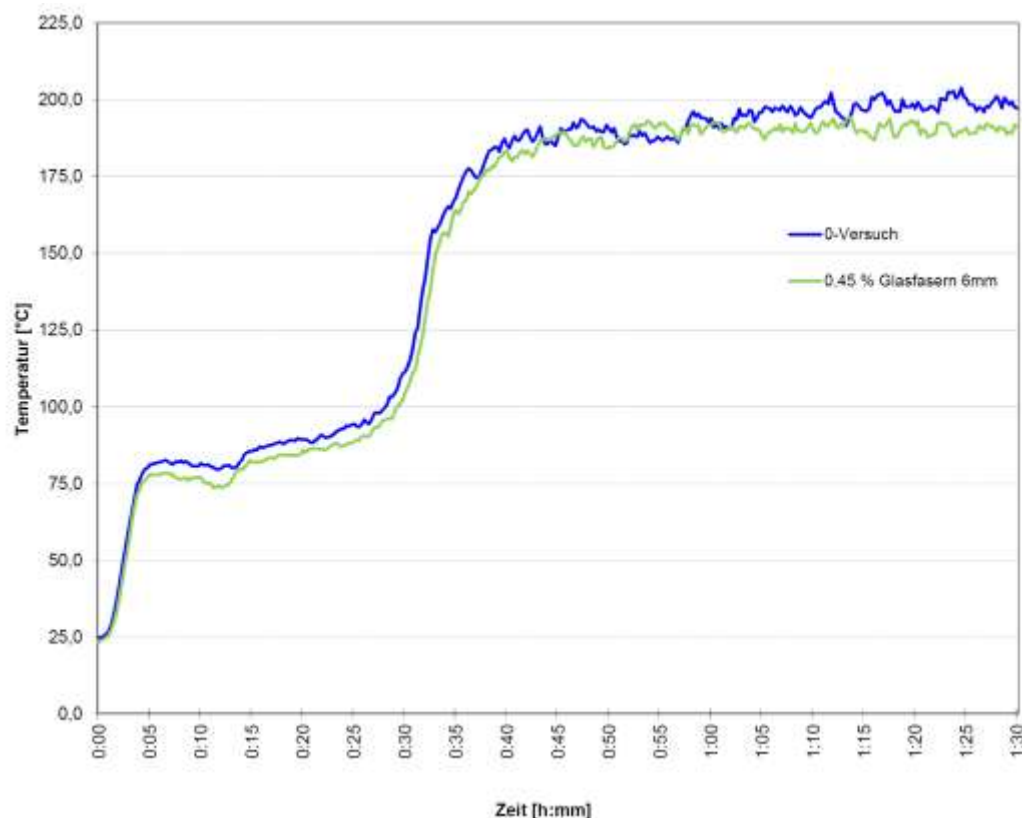
Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		0-Versuch	30 % Anhydritkörnung	0-Versuch	30 % Anhydritkörnung
WFW		0,62	0,52		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke		20,2	20,2	19,2	19,1
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	750,1	570,9	638,7
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1231,6	1018,0	1145,0
Gewichtsverlust	g			140,1	111,4
	%			19,7	14,8
Schrumpfung längs				1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	1,7

**Tabelle 12. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Anhydritkörnung.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		0-Versuch	30 % Anhydritkörnung	0-Versuch	30 % Anhydritkörnung
WFW		0,62	0,52		
Länge	mm	160,2	160,5	144,0	146,0
Breite		40,0	40,0	33,0	34,5
Höhe		40,5	40,3	33,0	34,5
Gewicht	g	301,7	320,0	236,1	265,7
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1236,9	1505,5	1528,7
Gewichtsverlust	g			65,6	54,4
	%			21,7	17,0
Schrumpfung Länge				10,1	9,0
Schrumpfung Breite				17,5	13,8
Schrumpfung Höhe				18,5	14,4

## 6.6. Bauteile bei Zugabe von Glasfasern

Bei den Wärmedurchgangsuntersuchungen an Platten, die Glasfasern enthalten, steigt die Temperatur etwas langsamer an und die maximale Temperatur liegt um ca. 10°C niedriger als beim 0-Versuch.



**Abbildung 36. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe einer Glasfaserzusatz.**

Die Risse der Platten mit Glasfasern sind kleiner und nicht so tief, wie die Risse der Referenzplatte ohne Faserzusatz.



**Abbildung 37. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite ohne Glasfaserzugabe.**



**Abbildung 38. Rissbild auf der wärmebeanspruchten Plattenseite bei Glasfaserzugabe.**



## 6.7. Diskussion der Ergebnisse

Die Auswirkungen der eingesetzten mineralischen Zusatzstoffe sind in den Tabelle 13 und 14 zusammengefasst. Dabei wurden fünf Kriterien bewertet.

**Tabelle 13. Auswirkungen von Zusatzstoffen auf wesentliche Kennwerte bei Brandbeanspruchung (Teil 1).**

	Additive	Wirkung				
		Temperatur- erhöhung	Maximale Temperatur	Risse	Stabilität	Schrumpfung
1	ohne Additive		190 - 200 °C	viele große Risse	Platten zerfallen in viele Teile	Länge: 10 % Breite: 16 % Höhe: 16.5 %
2	20% natürliche Zeolithe	etwas langsamer	7 °C niedriger	kleinere und weniger Risse	stabil	Länge: 6.5 % Breite: 7.5 % Höhe: 7.0 %
3	10 % Zeolith Purnol 13	langsamer	15 °C niedriger	sehr kleine Risse fast nicht sichtbar	sehr stabil	Länge: 9 % Breite: 15 % Höhe: 16 %
4	5 % Ettringit	viel langsamer	8 °C niedriger	viele große Risse	Platten zerfallen in viele Teile, weniger stabil	Länge: 9.5 % Breite: 17.5 % Höhe: 16.5 %
5	1 % nicht expandierte Vermiculite	kein Effekt	kein Unterschied	kleinere Risse	kein Effekt	Länge: 7 % Breite: 16 % Höhe: 16.5 %
6	300 ml / kg expandierte Vermiculite	etwas schneller	8 - 10 °C niedriger	kleinere Risse	mehr stabil	Länge: 10.5 % Breite: 15 % Höhe: 15.5 %
7	20 % Rohperlite	etwas schneller	kein Unterschied	viel kleinere Risse	sehr stabil	Länge: 1.5 % Breite: 2.5 % Höhe: 3 %
8	300 ml/kg expandierte Perlite	fast kein Unterschied	20 °C niedriger	etwas weniger Risse	etwas mehr stabil	Länge: 10 % Breite: 16 % Höhe: 18.5 %
9	5 % NYAD G Wollastonit	fast kein Effekt	10 °C niedriger	wenige kleine Risse	sehr stabil	Länge: 8 % Breite: 14 % Höhe: 15 %
10	80 g/m <sup>2</sup> (0.45 %) Glasfaser	etwas langsamer	10 °C niedriger	etwas kleinere Risse	sehr stabil	Länge: 5 % Breite: 14 % Höhe: 15 %

Je später der Temperaturanstieg nach der Entwässerung der Probe beginnt, desto günstiger ist das Brandverhalten der Platte. Daher ist der Zeitpunkt des Beginns der 3. Phase der Temperatur-Zeit-Kurve ein wesentliches Kriterium für die Wirksamkeit von Zusatzstoffen. In dieser Hinsicht zeichnet sich Ettringit aus, da die Temperaturerhöhung (dritte Phase) im Vergleich zur Referenzprobe ca. 3 Minuten später einsetzt. Bezogen auf den gleichen Zeitpunkt lässt sich eine 15... 30 °C niedrigere Plattenrückseitentemperatur ermitteln. Diesbezüglich günstig wirken auch die synthetischen Zeolithe und die geblähten Perlite (um ca. 2 Minuten verzögerte Erwärmung). Nachteilig wirken sich hingegen Zusatzstoffe mit 'Füllstoffcharakter' aus, da auf Grund der teilweisen Substitution des Gipsbinders weniger Wärme zur Entwässerung der Platte benötigt wird. Dies trifft besonders für die Zugabe von Anhydrit, Quarz und Rohperlite zu. Weitgehend indifferent verhalten sich hingegen Wollastonit, Vermiculit, Phonolith und Trass.

Ein weiteres Beobachtungskriterium ist die sich einstellende maximale Temperatur auf der Plattenrückseite. Eine Verringerung dieser Maximaltemperatur bewirken verschiedene eingesetzte Zusatzstoffe. Diesbezüglich besonders wirksam sind:

- expandierte Perlite – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 30 °C,
- expandierte Vermiculite – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 25 °C,
- synthetische Zeolithe – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 20 °C,
- Kaolin – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 20 °C,
- Phonolith – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 12 °C,
- Ettringit – Verringerung der Maximaltemperatur um ca. 8 °C.

Eine Verschlechterung ergab sich bei Zugabe von Anhydrit und Quarz, die übrigen Zusatzstoffe veränderten die Maximaltemperatur nur unmerklich. Die Zugabe geblähter Zusatzstoffe führt im Vergleich zu ihren Ausgangsstoffen zu einer deutlichen Herabsetzung der Maximaltemperatur.

Im Weiteren wurden die Platten hinsichtlich der Größe und der Anzahl der Risse bewertet. Die Risse sind bei Platten mit Zugabe von synthetischen Zeolithen so fein und klein, dass sie kaum sichtbar sind. Ebenso günstig gestaltet sich die Zugabe von Wollastonit und natürlichen Zeolithen. Eine nur leichte Verbesserung des Rissbildes wird durch die Zusatzstoffe Vermiculit, Perlit, Anhydrit, Ton sowie durch Glasfasern erzielt. Die übrigen Zusatzstoffe konnten die Entstehung von vielen großen Rissen nicht vermeiden.

Bei geringer mechanischer Beanspruchung zerfällt die Platte der Referenzprobe recht leicht in viele Teile. Bezüglich dieses Stabilitätskriteriums ist folgende Unterscheidung der Zusatzstoffe möglich. Platten mit Zeolithen, Perliten, Vermiculiten, Wollastonit, Anhydrit, Glasfasern und Tonen zeichnen sich durch eine verbesserte Stabilität nach dem Brandversuch aus. In nicht geblähter Form führen Perlite bzw. Vermiculite dabei zu mehr Stabilität als in expandierter Form.

Beim Vergleich der Volumenreduzierung infolge Brandbeanspruchung sind folgende Aussagen zu treffen. Am wenigsten schrumpfen die Proben mit Rohperliten. Eine geringere Kontraktion gegenüber der Vergleichsprobe ist bei Zugabe von Glasfasern, natürlichen Zeolithen und Ton festzustellen. Alle übrigen eingesetzten Zusatzstoffe beeinflussen die Schrumpfung der Prismen nicht.

**Tabelle 14. Auswirkungen der Zusatzstoffe auf wesentliche Kennwerte bei Brandbeanspruchung (Teil 2).**

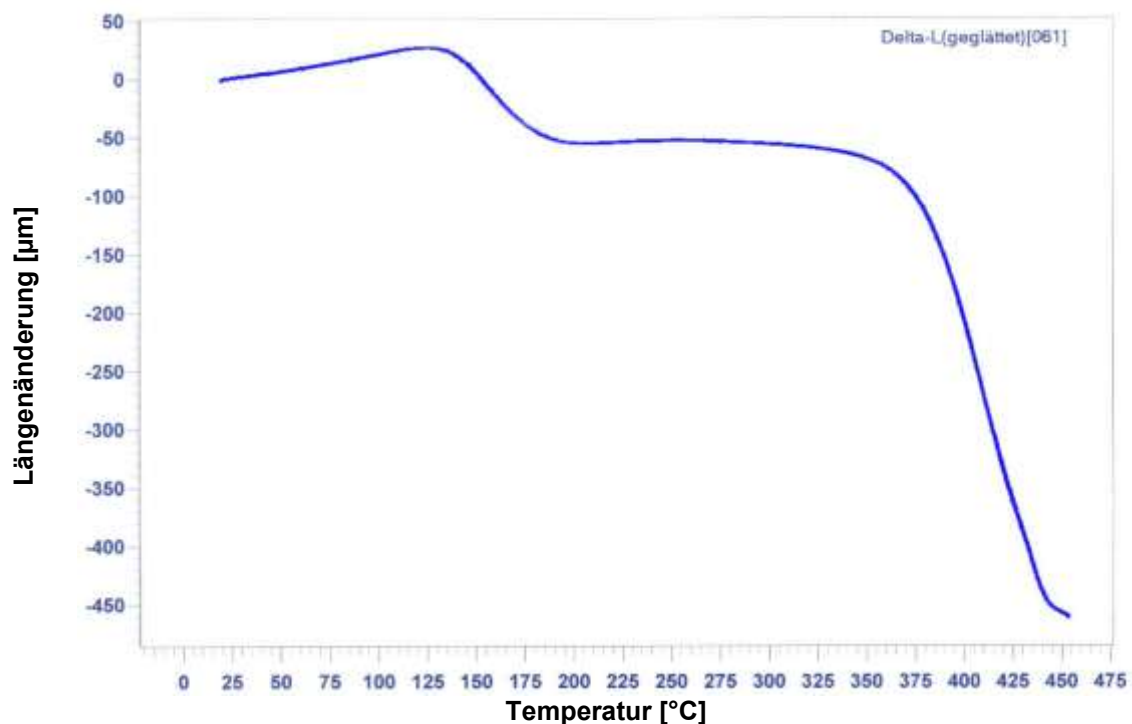
	Additive	Wirkung				
		Temperatur- erhöhung	Maximale Temperatur	Risse	Stabilität	Schrumpfung
1	ohne Additive		190 - 200 °C	viele große Risse	Platten zerfallen in viele Teile	Länge: 10 % Breite: 16 % Höhe: 16,5 %
11	10 % Kalkstein	kein Effekt	kein Unterschied	kein Unterschied	weniger stabil, nach zwei Tagen Platten zerfallen in Staub	Länge: 9 % Breite: 17,5 % Höhe: 15,5 %
12	10 % Quarz	kein Effekt	etwas höher	etwas kleinere Risse	kein Unterschied	Länge: 9 % Breite: 15 % Höhe: 13 %
13	10 % Trass	kein Effekt	kein Unterschied	etwas größere Risse	etwas weniger stabil	Länge: 10 % Breite: 15 % Höhe: 17 %
14	10% Feldspat	etwas schneller	kein Unterschied	kein Unterschied	mehr stabil	Länge: 9,7 % Breite: 15 % Höhe: 16 %
15	5% Kaolin	kein Effekt	15 °C niedriger	kleinere und weniger Risse	mehr stabil	Länge: 8,5 % Breite: 12,5 % Höhe: 13,5 %
16	10 % Ton GFU	etwas schneller	kein Unterschied	viel kleinere Risse	sehr stabil	Länge: 6 % Breite: 7,5 % Höhe: 8,5 %
17	30% Anhydritmehl	schneller	5 °C höher	etwas kleinere Risse	stabil	Länge: 9,5 % Breite: 14 % Höhe: 16 %
18	30% Anhydritkörnung	schneller	5 °C höher	kleinere und weniger Risse	mehr stabil	Länge: 9 % Breite: 14 % Höhe: 14,5 %
19	10 % Phonolithmehl	kein Effekt	8 °C niedriger	etwas kleinere Risse	kein Unterschied	Länge: 9,5 % Breite: 16,5 % Höhe: 17 %

Wesentliches Kriterium eines verbesserten Feuerwiderstandes der Bauplatte ist eine verminderte Rissbildung, da dadurch der Wärmedurchgang durch die Platte reduziert wird.

Hierfür bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

- Herstellung dichter Platten mit stärkerem Verbund der Gipskristalle untereinander,
- Kombination von Zusatzstoffen auf Basis der Voruntersuchungen,
- Zugabe intumescenter Stoffe, die während der Brandbeanspruchung entstehende Hohlräume ausfüllen und so den Zusammenhalt der Platten verbessern.

Die Rissbildung bei Brandbeanspruchung ergibt sich zum einen zwangsläufig aus der Phasenänderung, da die Dichte der Calciumsulfatphasen mit abnehmendem Kristallwassergehalt zunimmt. Die damit verbundene Volumenreduzierung im Festkörper führt zum Zusammenziehen des Gerüsts aus den Gipskristallen, welches der thermischen Ausdehnung gegenübersteht. Dilatometermessungen zeigen den summarischen Effekt von Volumenänderungen von Feststoffen.



**Abbildung 39. Temperaturabhängige Längenänderung eines Probekörpers ohne Zusatzstoffe (Wasserbindemittelwert 0,61).**

Abbildung 39 zeigt anschaulich die Volumenänderung eines Probekörpers, gefertigt auf Basis eines Stuckgipses, bei Wärmezufuhr. Zunächst (25...125 °C) ist die thermische Ausdehnung dominant. Der hierfür charakteristische thermische Ausdehnungskoeffizient von:

$$\alpha = 30 \mu\text{m} / (20\,000 \mu\text{m} \cdot 100 \text{ K}) = 15 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

entspricht recht gut den für Gipsbauteile angegeben Tabellenwerten. Im Gipsdatenbuch wird für Gipsputz beispielsweise ein mittlerer Wert von  $20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  angeführt [2].

Durch Abgabe des Kristallwassers erfolgt eine erste Volumenreduzierung im Temperaturbereich 125...175 °C. Hier lässt sich ein maximaler Kontraktionskoeffizient von

$$\alpha' (I) = 50 \mu\text{m} / (20\,000 \mu\text{m} \cdot 25 \text{ K}) = 100 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

ermitteln.

Bei weiterer Erwärmung (bis ca. 350 °C) bleibt das Volumen zunächst stabil, ehe eine erneute, stärker ausgeprägte Kontraktion einsetzt (370...440 °C). Der hierfür ermittelte Kontraktionskoeffizient beträgt:

$$\alpha' \text{ (II)} = 360 \text{ } \mu\text{m} / (20\,000 \text{ } \mu\text{m} \cdot 70 \text{ K}) = 257 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Als anderes Kriterium zur Beurteilung der Rissneigung kann die absolute Verkürzung der Probekörper während des Dilatometerversuches dienen. Als Bezugstemperatur wurde hierfür 430 °C festgelegt.

**Tabelle 15. Verkürzung der Probekörper aus dem Dilatometerversuch bei einer Erwärmung auf 430 °C (ursprüngliche Probekörperlänge 20 mm).**

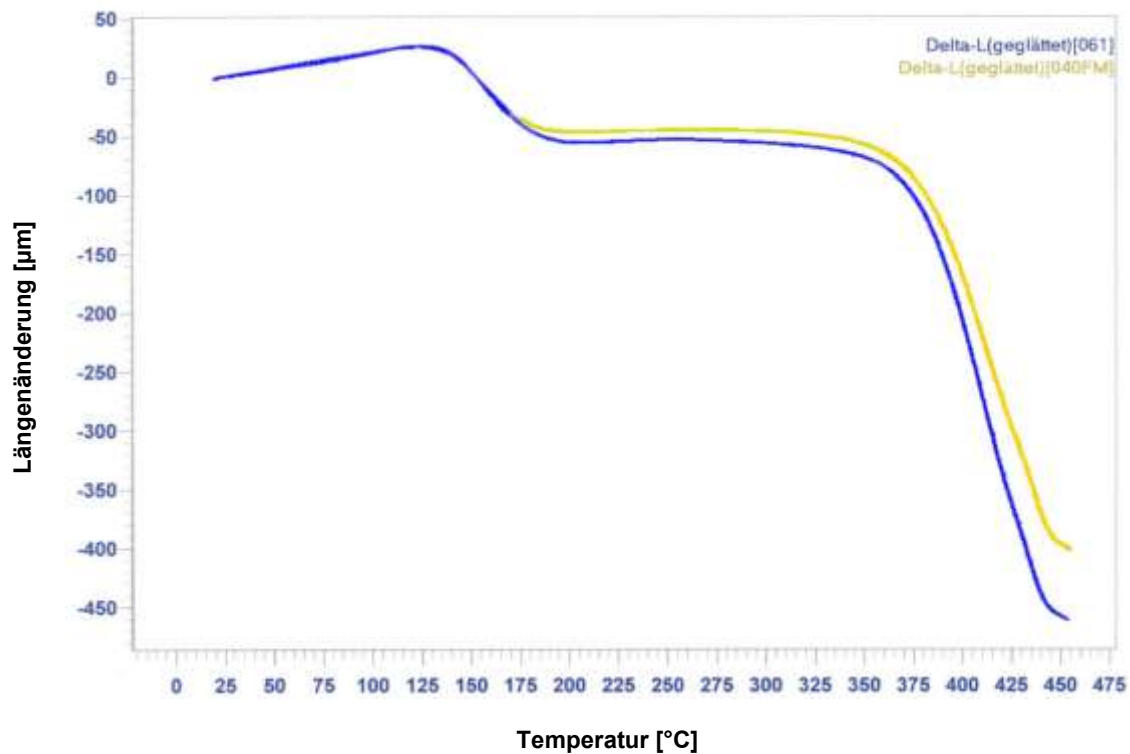
Zusatzstoff	Zugabemenge [%]	Verkürzung des Probekörpers [ $\mu\text{m}$ ]
ohne (WGW = 0,40)	-	320
ohne (WGW = 0,61)	-	390
Kalksteinmehl (WGW = 0,61)	10 %	288
Anhydritmehl (WGW = 0,61)	10 %	317
Phos-Chek P30 Regular* (WGW = 0,61)	0,1 %	305
GG 220-50** (WGW = 0,61)	0,1 %	322
GG 160-50** (WGW = 0,61)	0,1 %	273
GG 160-50** (WGW = 0,61)	1,0 %	350

\* Phos-Chek P30 intumescentes Ammoniumpolyphosphatpulver von BK-Giulini

\*\* GG - Grafguard expandierende Graphit Blättchen von Graftech

Alle mittels Dilatometer untersuchten Zusatzstoffe bewirken eine geringere Verkürzung der Probekörper gegenüber der Referenzprobe bei vergleichbarer thermischer Beanspruchung. Besonders günstig unter diesem Gesichtspunkt scheint die Zugabe geringer Mengen intumescenter Stoffe sowie von Kalksteinmehl.

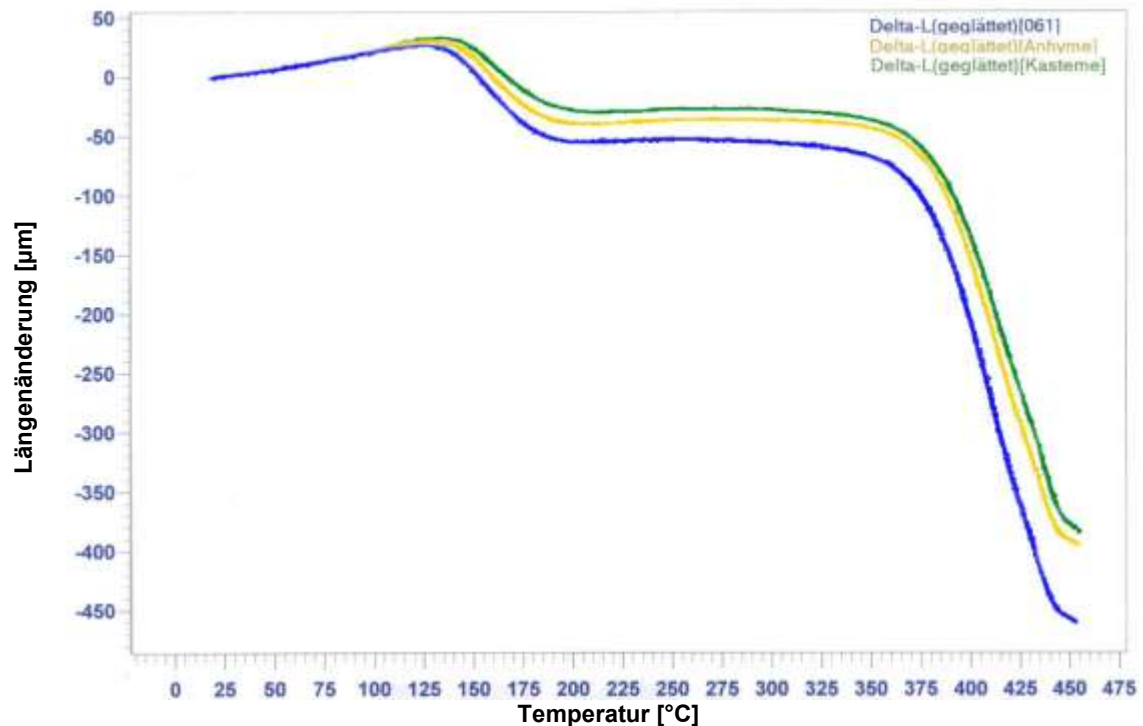
Vergleicht man die Proben, die mit unterschiedlichem Wasserbindemittelwert hergestellt wurden (Abbildung 40), so führt ein dichteres Gefüge zu einer geringeren Verkürzung des Probekörpers und zu vergleichsweise geringeren Kontraktionskoeffizienten (ergibt sich aus dem langsameren Abfall der Kurve).



**Abbildung 40. Vergleich der temperaturabhängigen Längenänderung von Probekörpern ohne Zusatzstoffe in Abhängigkeit vom Wasserbindemittelwert.**

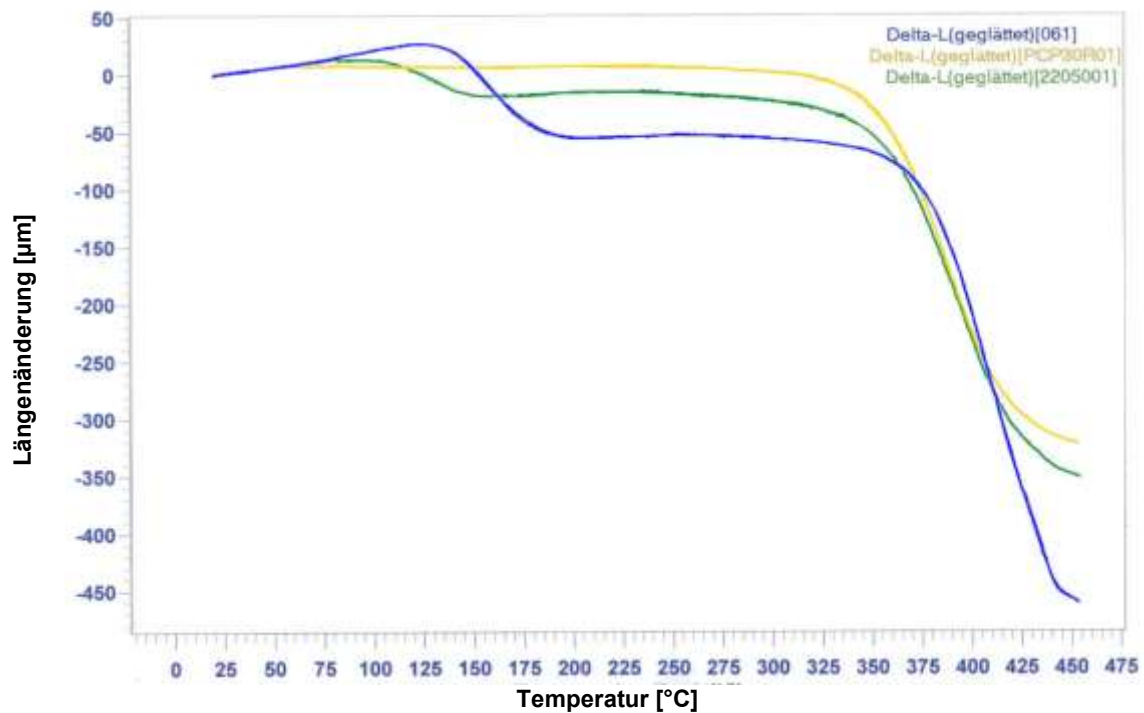
Die Zugabe inerter Zusatzstoffe, wie Kalksteinmehl oder Anhydritmehl, führt zu einem längeren Abschnitt der thermischen Ausdehnung um ca. 10... 15 K (Abbildung 41). Dadurch fällt die Verkürzung der Probekörper während der Entwässerung der Gipskristalle (gegenüber der Referenzprobe) nicht so stark aus. Auch im zweiten Kontraktionsabschnitt bewirken die Zusatzstoffe eine Reduzierung der Probekörperverkürzung um 15... 20 %.





**Abbildung 41. Auswirkung von inerten Zusatzstoffen auf die temperaturabhängige Längenänderung der Probekörper (Anhydritmehl und Kalksteinmehl jeweils 10 %).**

Intumescente Stoffe verhindern nahezu vollständig die Expansion während der Erwärmung auf 100 °C. Durch Phos-Chek P30 Regular wird die Kontraktion infolge Entwässerung vollständig kompensiert, bei GG 220-50 erfolgt dies teilweise. Dies sollte sich stabilisierend bei Brandbeanspruchung auswirken. Ebenso vorteilhaft ist die geringere Volumenreduzierung im 2. Kontraktionsabschnitt von ca. 15 %. Allerdings verdeutlicht Abbildung 42 auch, dass die Probekörperverkürzung gegenüber der Vergleichsprobe bereits bei niedrigeren Temperaturen einsetzt. Dadurch steigt die Gefahr einer frühzeitigen Rissbildung in Gipsplatten im Brandfall.



**Abbildung 42. Auswirkung von intumeszenten Zusatzstoffen auf die temperaturabhängige Längenänderung der Probekörper.**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das temperaturabhängige Längenänderungsverhalten aufschlussreiche Informationen zur Wirkung von Zusatzstoffen in Gipsplatten vermittelt. Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse sollte eine größere Plattendichte sowie die Zugabe von inerten Stoffen sich positiv auf die Stabilität von Gipsplatten (Reduzierung bzw. Verzögerung von Rissbildung) im Brandfall auswirken.

Bekannt ist, dass thermischer Anhydrit aus Gipsstein bei hohen Temperaturen zusammensintert. Bei Brandbeanspruchung von Bauplatten ist von vergleichbaren Bedingungen auszugehen, die sich zwangsläufig begünstigend auf die Rissbildung auswirken müssen.

Nachfolgende Untersuchungen sollten klären, in welchem Umfang sich der Gipskern einer Bauplatte verändert. Zum einen kann hierzu die Veränderung der inneren Oberflächen zur Beurteilung herangezogen werden. Andererseits können elektronenmikroskopische Aufnahmen dies verdeutlichen.

Mit dieser Zielstellung wurden Probekörper aus einem Stuckgips mit einer Dicke von 20 mm gefertigt (WGW = 0,61 sowie unter Zugabe eines Fließmittels mit einem WGW = 0,40). Diese wurden unterschiedlich thermisch beansprucht (Temperatur und Zeitdauer).

**Tabelle 16. Charakterisierung der Änderung der inneren Oberfläche von Gipsplatten in Abhängigkeit von der Brandbeanspruchung mittels BET-Messung (Stickstoffadsorption).**

Brandbeanspruchung		BET-Oberfläche [m <sup>2</sup> / g]	
Temperatur [°C]	Dauer [min]	bei WGW = 0,61	bei WGW = 0,40*
400	30	19,5	-
400	50	20,8	21,9
400	90	20,6	-
600	50	12,2	15,2
750	50	03,9	03,9
900	50	00,6	00,6
ohne Beanspruchung (Referenzpr.)		01,6	-

\* unter Zugabe von Fließmittel

Bei Brandbeanspruchung kommt es durch das plötzlich entweichende Kristallwasser zur Ausbildung von Rissen im Mikro- bzw. Nanobereich der Gipskristalle. Dadurch vergrößert sich die ‚innere‘ Oberfläche der untersuchten Proben zunächst enorm. Bei andauernder und stärkerer Brandbeanspruchung ‚sintern‘ die Kristalle und später auch das Gefüge zusammen und bewirkt eine Abnahme der Oberfläche. In Tabelle 16 sind diese temperaturabhängigen Veränderungen beschrieben. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass es im

Temperaturbereich zwischen 400 °C und 600 °C zu einer deutlichen Reduzierung der inneren Oberfläche der Gipsplatte kommt und somit die Rissbildung provoziert wird. Dabei ist auf Basis der erhaltenen Werte für Probekörper mit geringerem Wasserbindemittelwert (größerer Rohdichte) zu schlussfolgern, dass eine größere Rohdichte der Gipsplatten die Rissbildung erschwert.

**Tabelle 17. Charakterisierung der Änderung der inneren Oberfläche von Gipsplatten in Abhängigkeit von der Brandbeanspruchung mittels BET-Messung (Stickstoffadsorption) bei Zugabe intumescenter Stoffe.**

Brandbeanspruchung			BET-Oberfläche [m <sup>2</sup> / g]
Temperatur [°C]	Dauer [min]	Stoffzugabe	bei WGW = 0,61
400	50	Phos-Chek* – 0,1 %	19,7
400	50	GG 160 / 50** - 0,1 %	19,7
900	50	Phos-Chek* – 0,1 %	0,62
900	50	GG 160 / 50** - 0,1 %	0,56
ohne Beanspruchung (Referenzpr.)			01,6

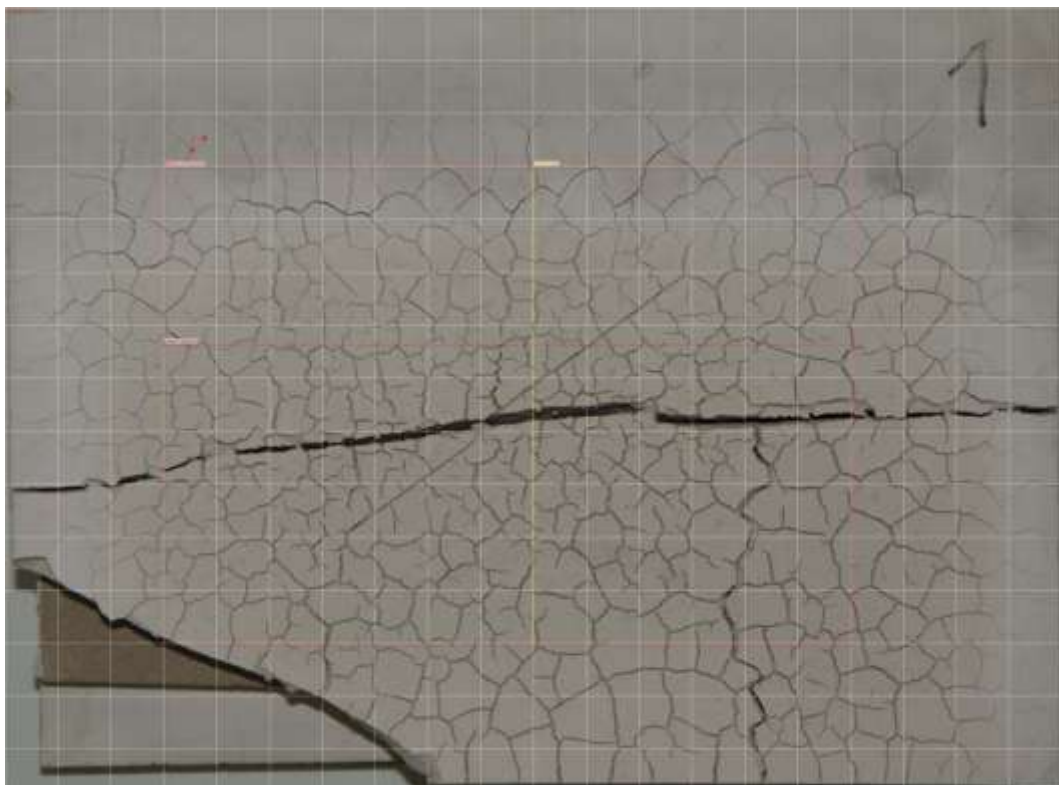
\* GG - Grafguard expandierende Graphit Blättchen von Grafttech

\*\* Phos-Chek P30 intumescentes Ammoniumpolyphosphatpulver von BK-Giulini

Die geringen Zugabemengen der in Tabelle 17 aufgeführten Zusatzstoffe wirken sich auf den Anteil des im Brandfall zu entwässernden Gipses nicht merklich aus. Daher muss die Reduzierung der inneren Oberfläche bei Zugabe der intumeszenten Stoffe eine andere Ursache haben. Dies könnte zum einen mit dem zusätzlichen Wärmeverbrauch zu erklären sein, der eine verzögerte Entwässerung der Gipskristalle und damit eine langsamere Oberflächenzunahme bewirkt. Zum anderen könnten Mikro- bzw. Nanorisse durch den Zusatzstoff 'abgedeckt' werden.

Beides wirkt sich positiv auf die Plattenstabilität bei Brandbeanspruchung aus, da die Erwärmung und die darauf einsetzende Rissbildung langsamer und gegebenenfalls mit geringerer Intensität erfolgen.

Aus den vorhergehenden Ausführungen wird deutlich, dass die Rissausbildung maßgeblichen Einfluss auf die Feuerwiderstandsfähigkeit von Gipsplatten haben muss. Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, Rissgröße und Rissverteilung nach der Brandbeanspruchung quantitativ zu beurteilen. Zu diesem Zweck wurden Fotos von den ausgewählten Platten erstellt und die Rissbilder dann mittels eines speziellen Programms 'analySIS' der Firma Soft Imaging beurteilt. Die Abbildung 43 bis 45 nebst Beschreibung geben Aufschluss über die Vorgehensweise zur Auswertung der Rissbildfotografien.

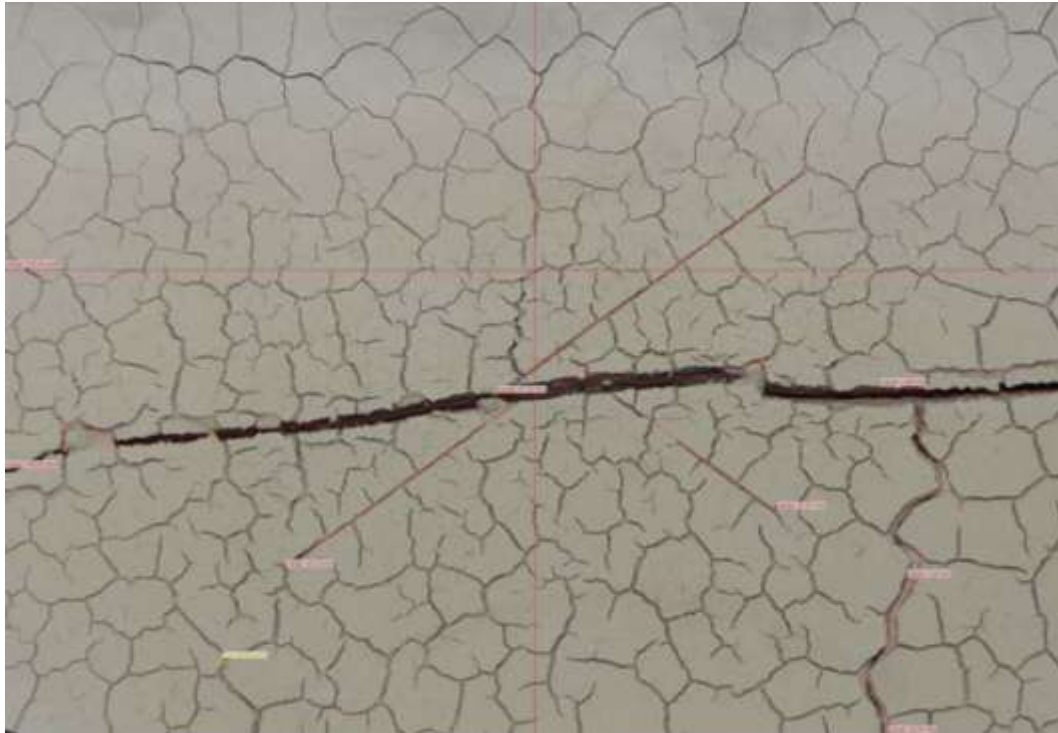


**Abbildung 43. Aufnahme der „Nullprobe“ (Platte auf Basis mit festgelegtem Messraster (10/10 mm Felder) und bemaßtem Untersuchungsbereich.**

Anhand der eingestellten Rasterung in Abbildung 43, konnte eine annähernd gleiche Festlegung und Justierung des Untersuchungsbereiches (ROI-Technik) für jede zu untersuchende Gipsplatte vorgenommen werden. Die Einstellung der Rahmenposition für die Bearbeitung der Gipsplatten „Nullprobe“, „01 % GG16050“, „10 % Kalksteinmehl“ und „10 % Diatomeenerde“ wurde manuell durchgeführt.

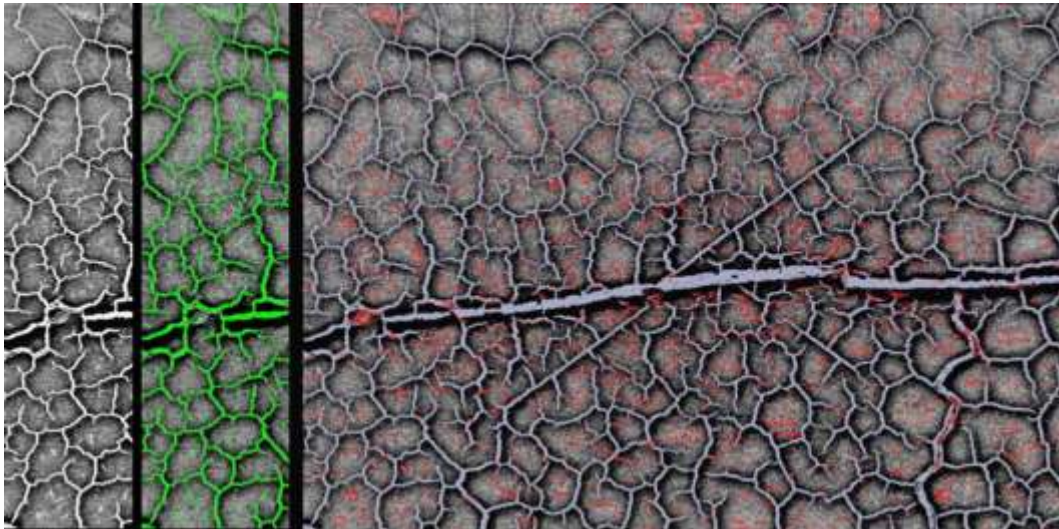
Ermittelte Ausgangsdaten:

- Plattengröße ca. 200,0 x 147,6 mm (rd. 20 x 15 cm)
- manuell festgelegter Untersuchungsbereich ca. 130,0 x 90 mm
- manuell ermittelte Untersuchungsfläche ca. 11723,42 mm<sup>2</sup>  
(rd. 117 cm<sup>2</sup>)



**Abbildung 44. Festgelegter Untersuchungsbereich mit ausgewählten Rissbreiten / -längen „Nullprobe“.**

Abbildung 44 zeigt das Rissverhalten im festgelegten Untersuchungsbereich. Auffällig ist der horizontale Riss über die komplette Gipsplattenbreite der „Nullprobe“. Die manuellen Messungen ergaben für den horizontalen Riss eine max. Rissbreite von ca. 2,09 mm und eine Risslänge von 146,56 mm (Abbildung 44). Eine weitere Auffälligkeit ist das sternförmig, geradlinige Rissbild im Zentrum.



**Abbildung 45. Ablauf, von der Invertierung des Grauwert-Bildes bis zur Detektion der Risse „Nullprobe“.**

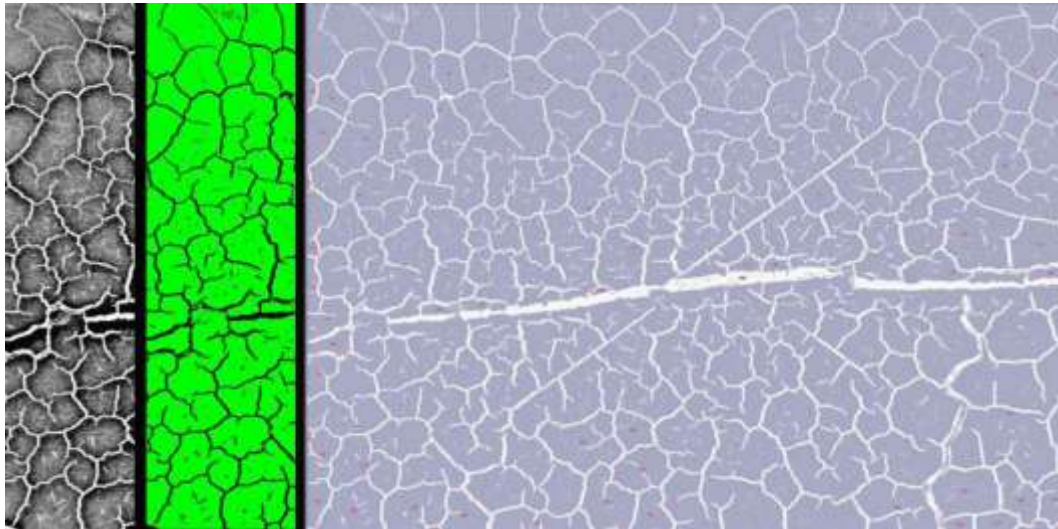
Abbildung 45 zeigt den Bearbeitungsablauf zur Detektion der Risse im festgelegten Untersuchungsbereich der „Nullprobe“. Die detektierten Rissflächen wurden mittels einer ID-Nr. dokumentiert und in Verbindung mit der ermittelten Flächengröße in Excel exportiert. Parallel dazu wurde das Verhältnis Untersuchungsfläche zu Rissfläche ermittelt und analog in Excel verarbeitet. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse kann der nachstehenden Tabelle entnommen werden.

**Tabelle 18. Ergebnisse zur ermittelten Rissfläche „Nullprobe“.**

Rissflächen $\Sigma$	Anzahl der Risse	Flächenanteil	Flächenanteil Untersuchungsfläche	Untersuchungs- fläche
cm <sup>2</sup>	#	%	%	cm <sup>2</sup>
14,8	2109	12,6	100	117

Demnach beträgt die Gesamtrissfläche 14,80 cm<sup>2</sup>, dies entspricht 12,56 % der betrachteten Fläche. Die Tabelle 19 zeigt analog dazu die Ergebnisse für die Partikelflächenbetrachtung in Abbildung 46.





**Abbildung 46. Ablauf, von der Invertierung des Grauwert-Bildes bis zur Detektion der Partikel „Nullprobe“.**

**Tabelle 19. Ergebnisse zur ermittelten Partikelfläche „Nullprobe“.**

Partikelflächen $\Sigma$	Anzahl der Partikel	Flächenanteil	Flächenanteil Untersuchungsfläche	Untersuchungsfläche
cm <sup>2</sup>	#	%	%	cm <sup>2</sup>
102,2	634	87,4	100	117

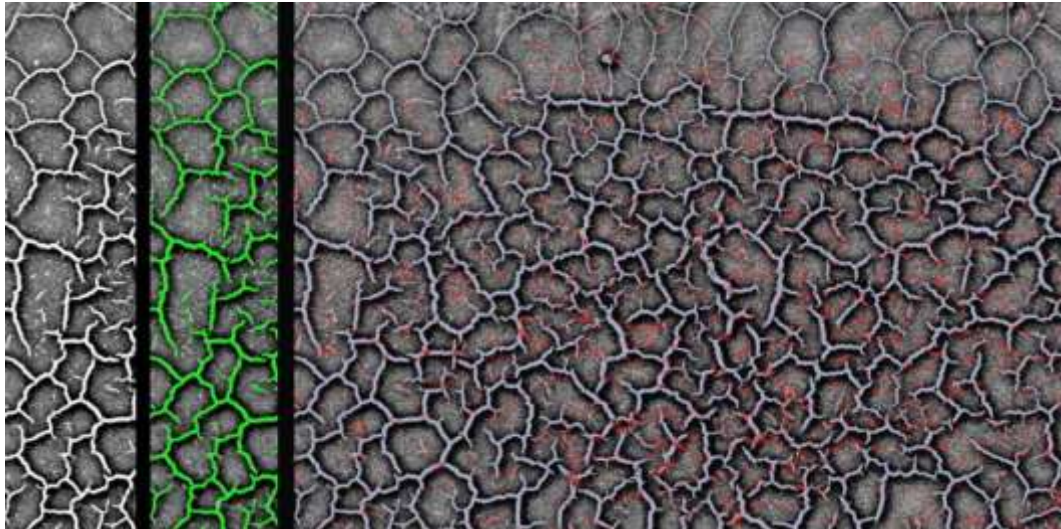
Nachfolgend werden die Rissbilder (Abbildung 47 bis 49) ausgewählter Zusätze nach diesem Auswertverfahren beschrieben (Tabelle 20 bis 22). Die Ergebnisse machen deutlich, dass die angewandte Methode sehr gut zur quantitativen Charakterisierung von Rissbildern geeignet ist.

Gegenüber der Nullprobe, mit einer Rissfläche von 14,8 cm<sup>2</sup>, bewirkt ein intumescenter Zusatz (hier 0,1 % GG16050) keinerlei Veränderung. Die Anzahl der Risse verringert sich dabei um ca. 20 %, was visuell kaum festzustellen ist.

Kalksteinmehl, bei einer Zugabemenge von 10 %, wirkt sich positiv auf das Rissbild infolge Brandbeanspruchung aus. Die Rissfläche reduziert sich um ca. 20 % bei gleichbleibender Rissanzahl. Dies belegt, dass sich in diesem Fall feinere Risse bilden und so die Wärmeleitung zur Plattenrückseite erschwert ist.



Gravierender sind die Auswirkungen von der Gipsplatte beigegebenen 10 % Diatomeenerde. Hier reduziert sich die Rissfläche drastisch von 14,8 cm<sup>2</sup> auf 4,7 cm<sup>2</sup> wobei sich die Rissanzahl mehr als verdoppelt. Die bearbeitete fotografische Darstellung des Rissbildes verdeutlicht diese Veränderungen sehr anschaulich.

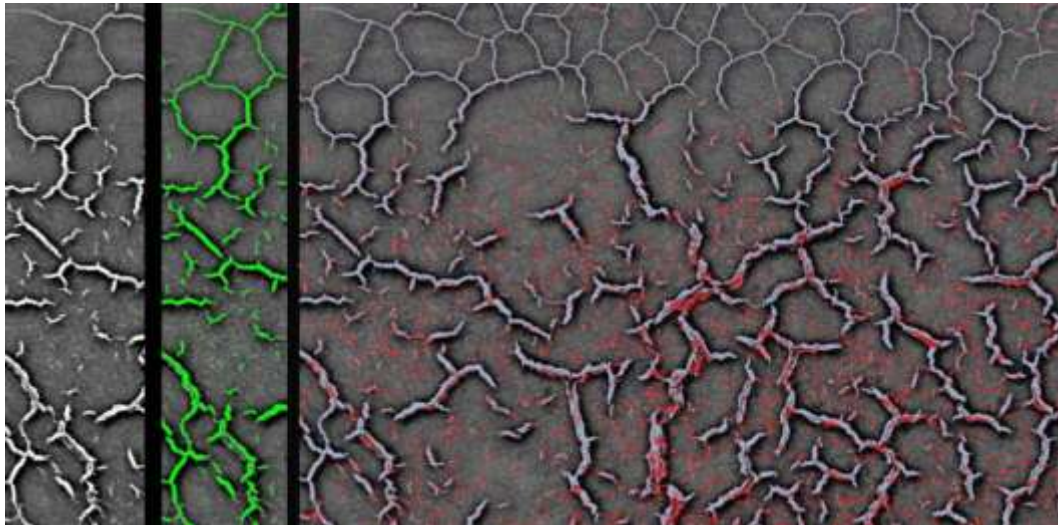


**Abbildung 47. Bearbeitete fotografische Darstellung des Rissbildes bei Zugabe von 0,1 % GG16050.**

**Tabelle 20. Ergebnisse zur ermittelten Rissfläche „01%GG16050“.**

Rissflächen $\Sigma$	Anzahl der Risse	Flächenanteil	Flächenanteil Untersuchungs- fläche	Untersuchungs- fläche
cm <sup>2</sup>	#	%	%	cm <sup>2</sup>
14,9	1760	12,7	100	117

Abbildung 48 zeigt den Bearbeitungsablauf zur Detektion der Risse im festgelegten Untersuchungsbereich der „10 % Kalksteinmehl“ Gipsplatte. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse kann der Tabelle 21 entnommen werden.

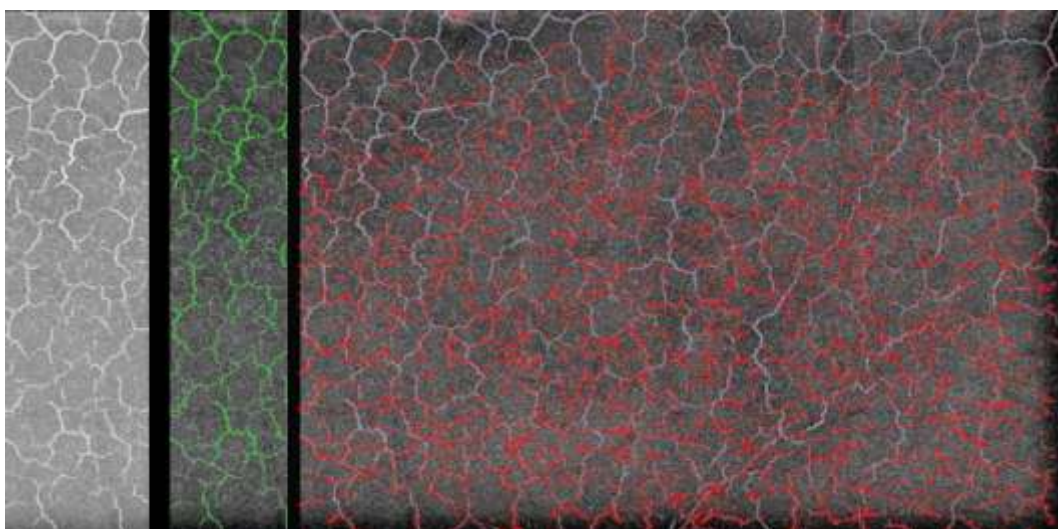


**Abbildung 48. Bearbeitete fotografische Darstellung des Rissbildes bei Zugabe von 10 % Kalksteinmehl.**

**Tabelle 21. Ergebnisse zur ermittelten Rissfläche „10 % Kalksteinmehl“.**

Rissflächen $\Sigma$	Anzahl der Risse	Flächenanteil	Flächenanteil Untersuchungs- fläche	Untersuchungs- fläche
cm <sup>2</sup>	#	%	%	cm <sup>2</sup>
11,1	2048	9,5	100	117

Abbildung 49 zeigt den Bearbeitungsablauf zur Detektion der Risse im festgelegten Untersuchungsbereich der „10 % Diatomeenerde“ Gipsplatte. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse kann der Tabelle 22 entnommen werden.



**Abbildung 49. Ablauf „10 % Diatomeenerde“, von der Invertierung des Grauwert-Bildes bis zur Detektion der Risse.**

**Tabelle 22. Ergebnisse zur ermittelten Rissfläche „10 % Diatomeenerde“.**

Rissflächen $\Sigma$	Anzahl der Risse	Flächenanteil	Flächenanteil Untersuchungs- fläche	Untersuchungs- fläche
cm <sup>2</sup>	#	%	%	cm <sup>2</sup>
4,7	4731	3,9	100	120

## **7. Konzept für eine optimierte Rezeptur, Kombinationen von verschiedenen Additiven**

Als Rezepturvorschlag zur Verbesserung des Feuerwiderstands von Gipsplatten auf Basis der bisherigen Versuche wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Konzepte entwickelt. Es wurden Platten und Prismen aus 80 % REA-Gips und 20 % Naturgips hergestellt mit jeweils:

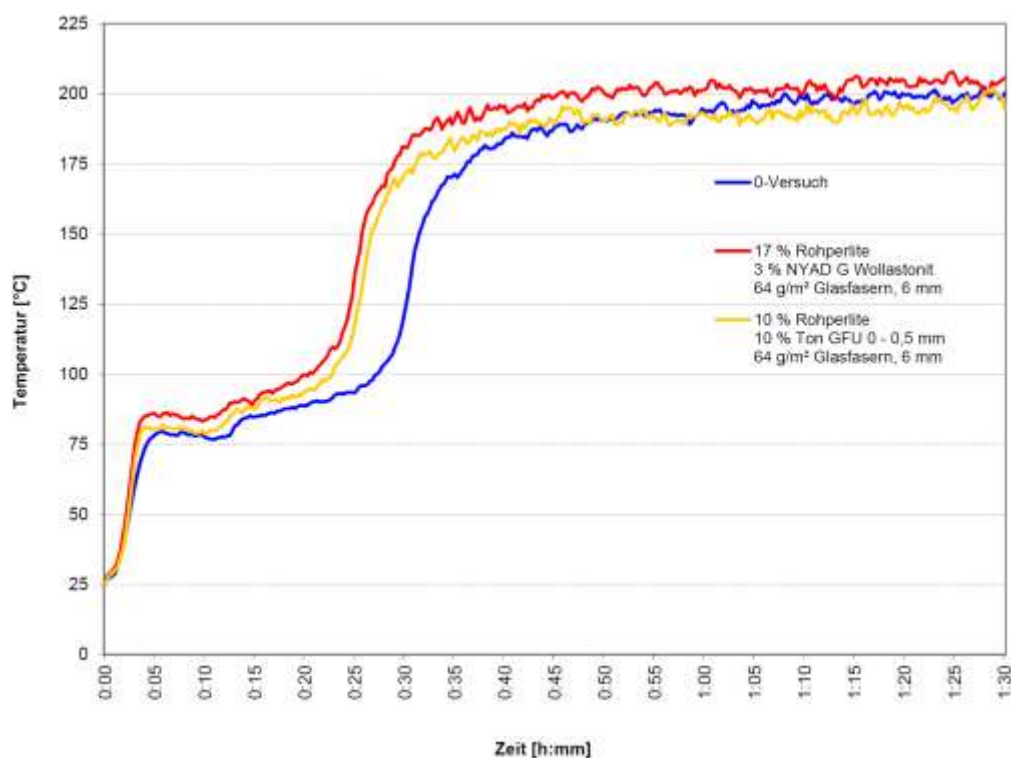
- 17 % Rohperliten, 3 % NYAD G Wollastonit und 64 g/m<sup>2</sup> Glasfasern 6 mm lang und
- 10 % Rohperliten, 10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm und 64 g/m<sup>2</sup> Glasfasern 6 mm.

An Probekörpern wurden Wärmedurchgangsmessungen durchgeführt und der Gewichtsverlust und die Schüsselung der Probekörper gemessen. Ferner wurden die Rissbilder und die Stabilitäten nach der Wärmedurchgangsmessung beurteilt. Das Schrumpfverhalten und die Festigkeiten wurden anhand von Prismen, wie oben beschrieben, ermittelt.

Bei der Wärmedurchgangsmessung tritt beim ersten Testansatz (17 % Rohperlite, 3 % NYAD G Wollastonit, 64 g/m<sup>2</sup> Glasfasern 6 mm) auf Grund des geringeren Anteils an Kristallwasser die dritte Phase der Erwärmung ca. 7 Minuten früher ein als beim 0-Versuch. Die maximale Temperatur liegt ca. 5 °C höher gegenüber der Vergleichsprobe (Abbildung 50). Die Risse sind sowohl bei den Platten als auch bei den Prismen nach der Hitzeeinwirkung winzig und kaum sichtbar; deshalb sind die Platten und Prismen dieses Versuchsansatzes sehr stabil. Sie weisen eine wesentlich höhere Stabilität auf, als bei einem separaten Einsatz der drei Komponenten in ungefähr gleicher Konzentration. Die Schrumpfung ist zwar etwas größer als beim Einsatz von 20 % Rohperliten, ist mit 3,3 % in der Länge und 6 - 7 % in der Breite und Höhe aber immer noch sehr gering (Abbildung 50).

Auch beim zweiten Testansatz (10 % Rohperliten, 10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm und 64 g/m<sup>2</sup> Glasfasern 6 mm) ist der Anteil an Kristallwasser verringert, was zu einem im Vergleich zum Nullversuch ca. 5 Minuten früheren Eintreten der dritten

Erwärmungsphase führt. Die maximale Temperatur liegt ungefähr so hoch wie beim Nullversuch. Die Risse sind bei diesen Platten und Prismen ebenfalls sehr klein, jedoch etwas deutlicher sichtbar als bei der Additivkombination aus Rohperliten und Wollastonit. Trotzdem sind die Platten und Prismen sehr stabil. Mit Rohperliten und Tonen ist die Schrumpfung mit 4,2 % in der Länge minimal größer als mit Rohperliten und Wollastonit (Tabelle 23 und 24). Beide Mischungen erzielen sehr gute Ergebnisse bei den Wärmedurchgangs- und Schrumpfungsmessungen im Labor. Hinsichtlich der Stabilität der Platten und Prismen nach der Hitzeeinwirkung ist kein Unterschied feststellbar. Um endgültig zu entscheiden, welche Kombination von Additiven besser ist, sollte ein Bandstraßenversuch mit anschließender Brandprüfung am Großprüfstand durchgeführt werden. Beim Bandstraßenversuch sollte darauf geachtet werden, dass die durch Schaumkonzentrat erzeugten Poren möglichst klein sind, um eine möglichst hohe Stabilität der Platten und eine möglichst niedrige maximale Temperatur bei der Wärmedurchgangsmessung zu erhalten. Vor dem Einsatz der Tone an der Bandstraße sollte jedoch die Wechselwirkung zwischen Tonen und den verschiedenen Typen an Fließmitteln überprüft werden.



**Abbildung 50. Temperaturverlauf bei Proben mit zwei optimierten Rezepturkonzepten.**

**Tabelle 23. Parameter der Proben mit zwei optimierten Rezepturkonzepten vor und nach der Messung des Wärmedurchgangs.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung			nach 1,5 h bei ca. 970°C		
		0-Versuch	17 % Rohperlite 3 % Wollastonit 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	10 % Rohperlite 10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	0-Versuch	17 % Rohperlite 3 % Wollastonit 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	10 % Rohperlite 10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm
WFW		0,62	0,57	0,59			
Anrührzeiten	s	15 s Einstreuen - 15 s Sumpfen - 30 s Rühren					
Trocknung		30 min RT - 60 min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C					
Länge	mm	201	201	201	198	198	198
Breite		150,5	150	150	147,5	148	148
Dicke		20,2	20,2	20,0	19,2	19,5	19,2
Schüsselung		keine			> 1,00	> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	710,95	716,13	695,65	570,85	597,78	577,11
Raumgewicht	kg/m <sup>3</sup>	1163,5	1175,9	1153,6	1018,0	1046,1	1025,7
Gewichtsverlust	g				140,10	118,35	118,54
Schrumpfung längs	%				19,7	16,5	17,0
Schrumpfung quer					1,49	1,49	1,49
					1,99	1,33	1,33

**Tabelle 24. Parameter der Proben mit zwei optimierten Rezepturkonzepten vor und nach der Prüfung des Schrumpfverhaltens.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung			nach 1,5 h bei ca. 1000°C		
		0-Versuch	17 % Rohperlite 3 % Wollastonit 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	10 % Rohperlite 10 % Ton GFU 0-0,5 mm 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	0-Versuch	17 % Rohperlite 3 % Wollastonit 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm	10 % Rohperlite 10 % Ton GFU 0-0,5 mm 64 g/m <sup>2</sup> Glasfasern, 6 mm
WFW		0,6	0,6	0,6			
Länge	mm	160,2	160,3	160,3	145,0	155,0	153,5
Breite		40,0	40,0	40,0	33,0	37,5	37,5
Höhe		40,5	40,3	40,3	33,0	37,5	38,0
Gewicht	g	301,7	304,2	296,4	236,1	248,1	238,8
Raumgewicht	kg/m <sup>3</sup>	1162,3	1177,1	1147,1	1495,1	1138,3	1091,8
Gewichtsverlust	g				65,6	56,1	57,6
Schrumpfung Länge	%				21,7	18,4	19,4
Schrumpfung Breite					9,5	3,3	4,2
Schrumpfung Höhe					17,5	6,3	6,3
					18,5	6,9	5,7



## **8. Bandstraßenversuch zur großtechnischen Herstellung von Gipsplatten mit optimierter Rezeptur**

Um eine anscheinend große Menge von an Spezialplatten zur Verfügung zu haben, wurden neun Rezepturen auf einer konventionellen Bandstrasse für die Herstellung von Gipsplatten produziert.

Die technischen Einrichtungen einer Bandstrasse wurden im Kap. 2.1 ausführlich beschrieben.

Im vorliegenden Fall wurden die mineralischen Zuschläge im Vorfeld homogen gemischt und über ein kleines Vorabsilo per Bandwaage in den Bandstrassenmischer dosiert.

Dabei wurde das Wasser-Feststoff-Verhältnis insgesamt konstant gehalten, d. h. das Mineralgemisch substituiert die entsprechende Gipsmenge und das Gipsplattengewicht bleibt in etwa konstant.

Wichtig ist besonders, dass nur bei einer großtechnischen Produktion der Einfluss dieser Technologie auf die Plattenqualität offenkundig wird.

Platten aus einer Laborfertigung unterscheiden sich von großtechnisch gefertigten Platten lediglich in der Dimension und der Geometrie sowie der Kartonhaftung. Die chemische Zusammensetzung beider Platten ist identisch, allerdings kann bei der Großproduktion eventuell etwas mehr Lufteintrag stattfinden.

## **9. Praktische Brandprüfung**

### **9.1. Auswahl einer Konstruktion zur Prüfung im Großmaßstab**

Für die Untersuchung des Feuerwiderstandes im Großmaßstab wurde die Knauf W112 Metallständerwand ohne Dämmstoff ausgewählt [39] (Anhang A VI Abbildung 120 und 121). Der Grund dafür ist, dass diese Konstruktion mit dem geringsten Ständerquerschnitt am wenigsten Standhaftigkeit hat. Gleichzeitig hat diese Wand einen relativ hohen Feuerwiderstand bei hohen Temperaturen. Die Technische Beschreibung sowie die entsprechenden Querschnitte sind in Anhang A VI beschrieben.

### **9.2. Der Wandprüfstand**

Die großtechnischen Prüfungen werden im Brandhaus der Knauf Gips KG durchgeführt. Prüfungen von Wandkonstruktionen werden in einem Wandprüfstand mit einer Prüffläche von 3,0 m x 3,0 m realisiert. Es besteht die Möglichkeit, Konstruktionen mit und ohne Auflast zu prüfen. Metallständerwände werden meistens als nichttragende Elemente ohne Auflast gemäß Prüfnorm: EN 1363-1 [27] in Verbindung mit EN 1364-1 [46] geprüft, tragende Elemente hingegen gemäß EN 1365-1 [50]. Die maximale Anzahl der Meßstellen beträgt 100 Stück.





**Abbildung 51. Der Wandprüfstand.**

Die erforderlichen Temperaturen im Brandraum werden mit Ölbrennern (Heizöl EL nach DIN 51603) [35] nach der Einheitstemperatur-Kurve gemäß DIN EN 1363-1, Ausgabe 10-1999 [27] erreicht. Mit Ni-Cr/Ni-Al-Platten-Thermoelementen wurde die Brandraumtemperatur ca. 10 cm vor dem Prüfkörper kontrolliert. Die Temperaturen auf der dem Feuer abgewandten Seite des Prüfkörpers wurde mit Ni-Cr-Ni-Thermoelementen gemessen. Siehe Anhang A VI. Die während des Brandversuches im Brandraum gemessenen Temperaturen und auf der dem Feuer abgewandten Seite des Prüfobjektes gemessenen Temperaturerhöhungen werden als Kurvenverlauf in Diagramme eingetragen.

Die Konstruktion sowie die Lage der Messstellen am Prüfkörper sind im Anhang A VI auf Abbildung 125 bis 128.

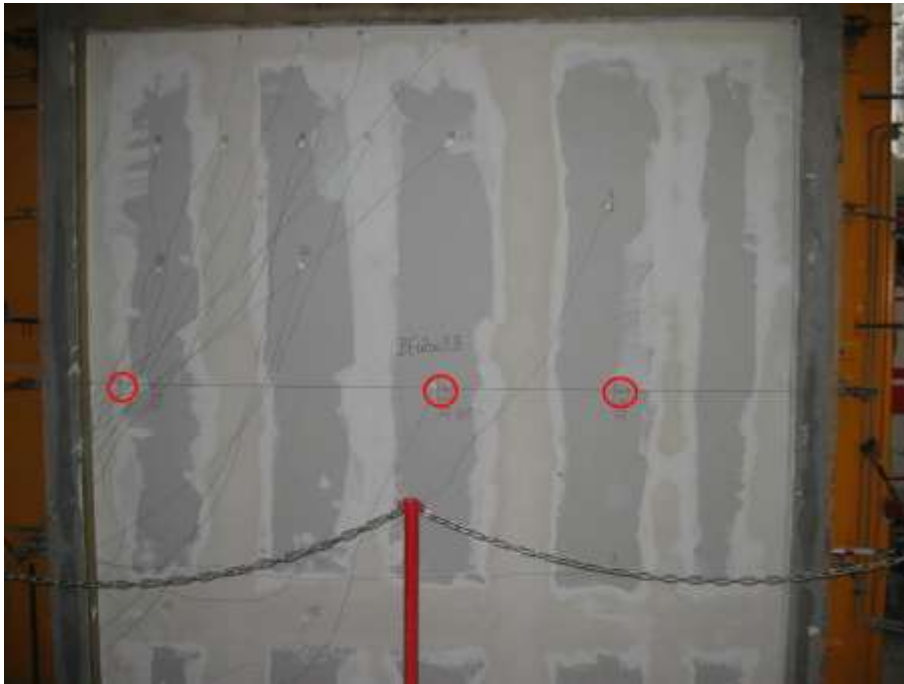
### **9.3. Ergebnisse der Prüfungen von Wandkonstruktionen**

Im Brandhaus der Knauf Gips KG sind großtechnische Prüfungen von Wandkonstruktionen aus Feuerschutzplatten mit verschiedenen Eigenschaften in einem Wandprüfstand durchgeführt worden. Die Temperaturen auf der dem Feuer abgewandten Seite des Prüfkörpers wurden an 20 Messstellen gemessen. Die Ergebnisse sind jeweils in zwei Diagrammen dargestellt worden. Das erste Diagramm zeigt die Temperatur-Zeit-Kurve der fünf internationalen Messstellen (EN 1364-1) [46]. Die Anordnung der Messstellen wurde im Kapitel 9 und Anhang A VI auf

Abbildung 128 dargestellt. Es sind immer die Messstellen mit den Nummern 1 bis 5. Das zweite Diagramm zeigt den Mittelwert der Messstellen Nr. 1 bis 5. Es wird notiert wann der Mittelwert der Messstellen 1 bis 5 die Temperaturerhöhung von 140 K erreicht. Die Temperatur wurde auch punktweise mit einer Infrarotmesspistole im Hinblick der Überschreitung der Temperatur von 200°C ermittelt.

Es auch wird notiert, wann die erste Messstelle die Temperaturerhöhung von 180 K erreicht und ob bzw. wann ein Feuerschein sichtbar ist (Abbildung 53). Während der Prüfung wird die Durchbiegung in Mitte der Wandhöhe an drei Stellen gemessen (Abbildung 52). Die Schrumpfung der Platten wird an den Längskanten in Zeitabschnitten von 10 Minuten gemessen (Abbildung 54). Es wird auch die feuerbeeinflusste Seite im Hinblick des Abfallen der Platten beobachtet.

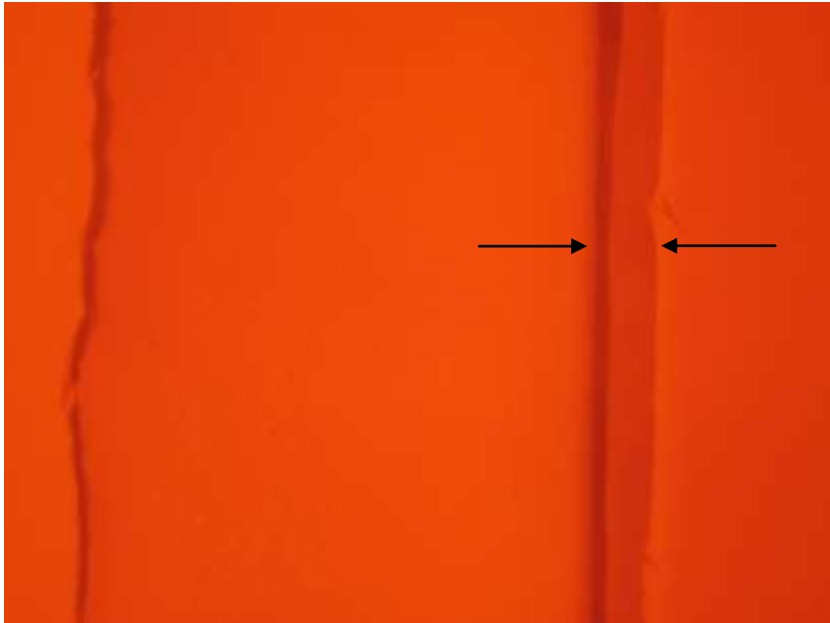
Es wurde fixiert wann das erste Stück, das zweite und 50 % der Bekleidung abfällt (Abbildung 55).



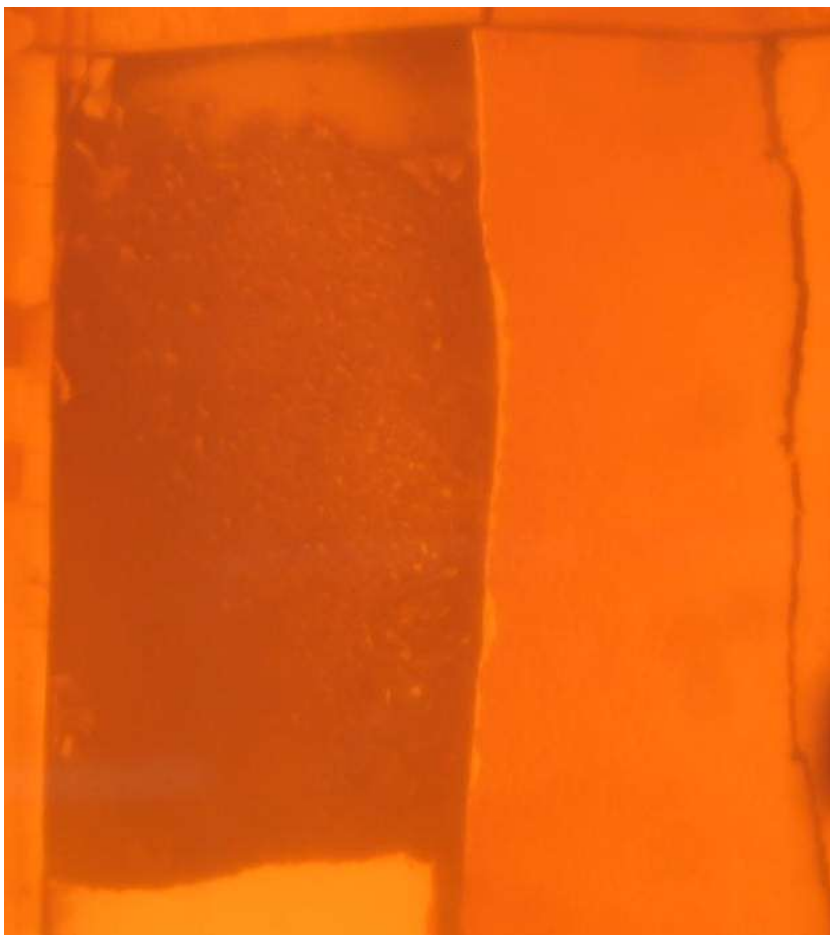
**Abbildung 52. Messstellen zur Feststellung der Durchbiegung.**



**Abbildung 53. Beispielstelle an der ein Feuerschein sichtbar geworden ist.**



**Abbildung 54. Schrumpfung der Platten auf der Feuerseite der Wandkonstruktion.**



**Abbildung 55. Abfallen der Platten auf der Feuerseite der Wandkonstruktion.**

#### **9.4. Schlussfolgerungen**

Die Ergebnisse der im Brandhaus der Knauf Gips KG geprüften Wandkonstruktionen mit Feuerschutzplatten aus REA-Gips sind in Tabelle 25 zusammengestellt. Zusätzlich sind die Temperatur-Zeit-Kurven der Mittelwerte der fünf internationalen Messstellen (EN 1364-1) [46] von Wandkonstruktionen mit Platten aus REA-Gips im Diagramm auf Abbildung 56 dargestellt worden. Die Ergebnisse der geprüften Wandkonstruktionen mit Feuerschutzplatten aus Naturgips sind in der Tabelle 26 zusammengestellt. Die Temperatur-Zeit-Kurven der Mittelwerte der fünf internationalen Messstellen sind im Diagramm auf Abbildung 57 zusammengestellt. Die einzelnen Temperatur-Zeit-Kurven für alle Messungen sind im Anhang A VII dargestellt.

Es sind vier Kriterien bewertet worden.

Das erste betrifft die maximale Temperatur bzw. Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgewandten Seite des Prüfkörpers. Die Überschreitung der Temperatur von 200 °C, gemessen punktweise mit einer Infrarotmesspistole, wurde nach maximal 111 Minuten bei Prüfung F erreicht. Die Überschreitung der Temperaturerhöhung von 180 K auf der ersten Messstelle in der 109 Minute und die Überschreitung des Mittelwertes der Messstellen 1 - 5 der Temperaturerhöhung von 140 K in der 118 Minute, ebenfalls bei Prüfung F. Bei der Prüfung F hat mithin die Zeitspanne der Beflammung am längsten gedauert. Generell wurde das Temperaturkriterium bei einer Wandkonstruktion mit Feuerschutzplatten aus 100 % REA-Gips mit einem Anteil von 83,9 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und 1% Vermiculite und einem Flächengewicht von 10,77 kg/m<sup>2</sup> erfolgreich absolviert.

Das zweite bewertete Kriterium ist die Durchbiegung in der Mitte der Wandhöhe, gemessen an drei Stellen. Die maximale Durchbiegung von 101 mm wurde bei der Prüfung AR (Feuerschutzplatten aus 75 % REA-Gips und 25 % Naturgips, mit einem Anteil von 40 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und 20 % Rohperliten und einem Flächengewicht von 9,53 kg/m<sup>2</sup>), in der 80 Minute gemessen. Die minimale Durchbiegung von 33 mm wurde bei der Prüfung K (Feuerschutzplatten mit

100 % REA-Gips, mit einem Anteil von  $19,5 \text{ g/m}^2$  Gasfasern und einem Flächengewicht von  $10,74 \text{ kg/m}^2$ ), in der 70 Minute gemessen.

Das dritte bewertete Kriterium ist die Schrumpfung der Platten, gemessen an den Längskanten der Platten in Zeitabschnitten von 10 Minuten. Die minimale Schrumpfung der Platten der ersten Plattenlage von 8 mm wurde bei der Prüfung J in der 60 Minute gemessen. Die minimale Schrumpfung der Platten der zweiten Plattenlage von 0 mm wurde bei der Prüfung F festgestellt. Generell wurde das Kriterium des minimalen Schrumpfverhaltens der Platten für die Wandkonstruktion mit Feuerschutzplatten aus 100% REA-Gips mit einem Anteil von  $83,9 \text{ g/m}^2$  Gasfasern und 1% Vermiculite und einem Flächengewicht von  $10,77 \text{ kg/m}^2$  erreicht.

Das vierte bewertete Kriterium ist das Abfallen der Platten auf der feuerbeeinflussten Seite. Bei der Prüfung F sind erst nach 90 Minuten 50 % der Bekleidung der ersten Plattenlage abgefallen und die zweite Plattenlage ist bis zum Ende der Beflammung an der Wandkonstruktion geblieben.

Es ist deutlich zu sehen, dass das Gesamtergebnis sehr stark von der Stabilität und dem Schrumpfverhalten der Platten abhängig ist. Es können vergleichbare Gesamtergebnisse, sowohl mit Platten aus REA-Gips wie mit Platten aus Naturgips, erreicht werden (Siehe Prüfung F und C). Auch Platten mit unterschiedlichem Flächengewicht können vergleichbare Resultate ergeben (siehe Prüfung A und C).

**Tabelle 25. Zusammenstellung der der Ergebnisse von Wandkonstruktionen mit Platten aus REA-Gips.**

Prüfung Nummer				A	F	K	M	AR	
Datum				2008-03-18	2008-04-18	2008-05-07	2008-04-29	2008-11-17	
Typ der Gipsplatte				12,5 GKF	12,5 GKF	12,5 GKF	12,5 GKF	12,5 GKF	
Glasfasermenge		g/m²		40	83,9	19,5	25	40	
Gipstyp:				75 % REA / 25 % NAT.	100 % REA	100 % REA	91% REA / 7,5 % NAT. / 1,5 % Abfall	75 % REA / 25 % NAT.	
Rohdichte		kg/m³		762	861	859	821	762	
Flächengewicht		kg/m²		9,53	10,77	10,74	10,26	9,53	
Additive:		%		7,75% Kalkstein	1 % Vermiculite	-	-	20 % Rohperlite	
Beobachtungen:									
Sichtseite:	Infrarotmesspistole >200°C:			min	104	111	76	85	106
	Erste Messstelle >180K				108	109	80	90	106
	Mittelwert der Messstellen 1-5 > 140K:				112	118	-	-	-
	Feuerschein sichtbar:				-	-	84	85	-
	Ende der Beflammung:				112	118	87	90	110
	maximale Durchbiegung nach Zeitabschnitt								
	min	10	mm	11	13	9	13	13	
		20		9	11	7	10	11	
		30		6	7	3	8	9	
		40		13	12	22	16	34	
		50		43	43	53	52	44	
		60		64	58	53	68	65	
		70		71	65	33	70	80	
		80		76	71			101	
		90		75	70				
		100			68				
		110			62				
		120							
Feuerseite:	Schrumpfung der Platten nach Zeitabschnitt								
	Erste Plattenlage	min	10	mm	-	-	-	5	2
			20		2	2	3	20	2
			30		5	3	8	20	3
			40		15	5	-	30	3
			50		30	8	-	30	10
			60		35	12	-	-	18
			70		-	25	-	-	25
	Zweite Plattenlage	min	30		-	-	2	-	
			40		-	-	20	25	
			50		-	-	35	35	
			60		-	-	60	50	
			70		35	-	60	60	
			80		50	-	-	-	30
			Abfallen der Platten						
	Erste Plattenlage	Erstes Stück	min	46	47	23	20	57	
		Zweites Stück		58	68	26	24	74	
		> 50% der Bekleidung		70	90	44	60		
	Zweite Plattenlage	Erstes Stück		100	-	57	68	93	
		Zweites Stück		106	-	61	73	102	
		> 50% der Bekleidung		108	-	82	78		

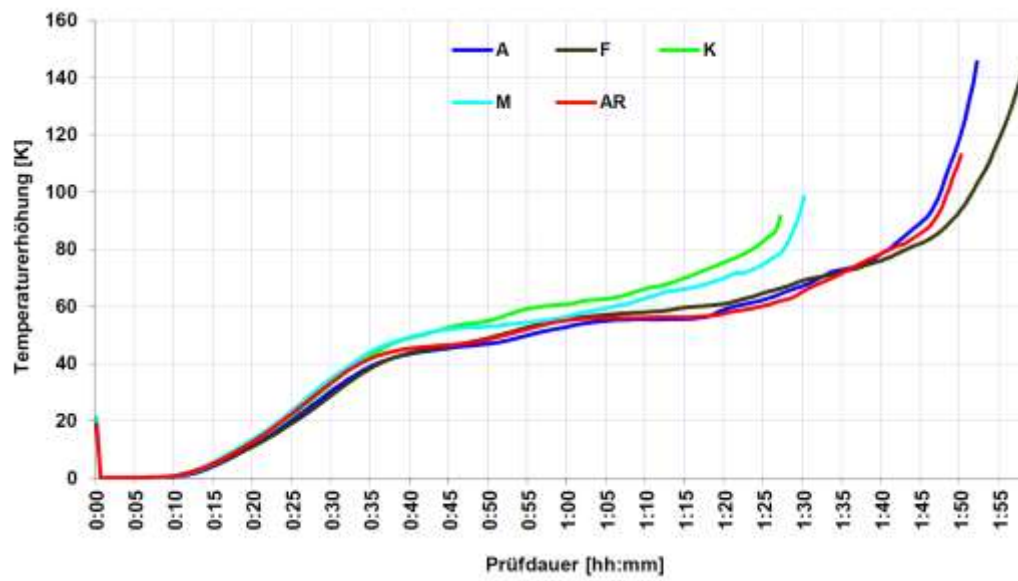
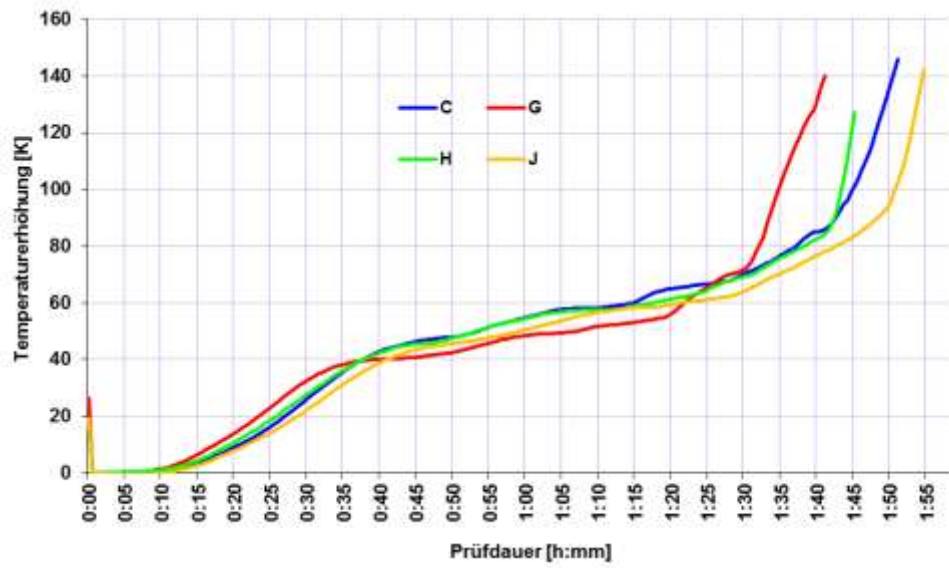


Abbildung 56. Temperatur-Zeit-Kurven der Mittelwerte der fünf internationalen Messstellen (EN 1364-1) [46] von Wandkonstruktionen mit Platten aus REA-Gips.



**Tabelle 26. Zusammenstellung der der Ergebnisse von Wandkonstruktionen mit Platten aus Naturgips.**

Prüfung Nummer				C	G	H	J	
Datum				2008-05-13	2008-05-14	2008-04-18	2008-03-28	
Typ der Gipsplatte				12,5 GKF	12,5 GKF	12,5 GKF	12,5 GKF	
Glasfasermenge		g/m²		37,5	19	24	20,3	
Gipstyp:				100% NAT.	100% NAT.	100% NAT.	100% NAT.	
Rohdichte		kg/m³		957	818	863	896	
Flächengewicht		kg/m²		11,97	10,23	10,79	11,2	
Additive:		%		-	-	0,74 % Vermiculite (80 g/m²)	1,07 % Vermiculite (120 g/m²)	
Beobachtungen:								
Sichtseite:	Infrarotmesspistole >200°C:			min	105	94	100	110
	Erste Messstelle >180K				106	94	104	111
	Mittelwert der Messstellen 1-5 > 140K:				110	101	-	114
	Feuerschein sichtbar:							
	Ende der Beflammung:				111	101	105	114
	maximale Durchbiegung nach Zeitabschnitt							
	min	10	mm	13	10	12	14	
		20		13	8	11	14	
		30		10	7	8	12	
		40		9	21	10	12	
		50		35	50	45	29	
		60		58	59	65	51	
		70		68	66	77	60	
		80		68	69	73	62	
		90		71	69	75	62	
		100				73	65	
		110						
		120						
Feuerseite:	Schrumpfung der Platten nach Zeitabschnitt							
	Erste Plattenlage	min	10	mm	2	-	-	-
			20		8	-	2	1
			30		10	3	4	3
			40		20	4	15	3
			50		-	12	20	4
			60		-	12	-	8
			70		-	20	-	-
	Zweite Plattenlage	min	30		-	-	-	-
			40		-	-	-	-
			50		-	10	8	-
			60		35	20	30	-
			70		45	30	40	30
			80		50	30	50	45
			Abfallen der Platten					
	Erste Plattenlage	Erstes Stück		min	58	49	42	58
		Zweites Stück			62	50	47	60
		> 50% der Bekleidung			65	75	58	69
	Zweite Plattenlage	Erstes Stück			89	77	88	88
		Zweites Stück			97	81	90	88
		> 50% der Bekleidung			100	85	90	89



**Abbildung 57. Temperatur-Zeit-Kurven der Mittelwerte der fünf internationalen Messstellen von Wandkonstruktionen mit Platten aus Naturgips.**

## **10. Zusammenfassung und Ausblick**

Die Qualität von Beplankungselementen wirkt sich deutlich auf den Feuerwiderstand von Metallständer-Wandkonstruktionen aus. Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit der Einfluss von Zusätzen in Gipsplatten bezüglich einer möglichen Verbesserung dieser Eigenschaft untersucht.

Zu diesem Zweck wurden spezielle, den jeweiligen Untersuchungsbedingungen angepasste Probekörper unter Verwendung verschiedenster Zusätze gefertigt. Die Beurteilung deren Auswirkungen erfolgte insbesondere mittels nachfolgender fünf Kriterien:

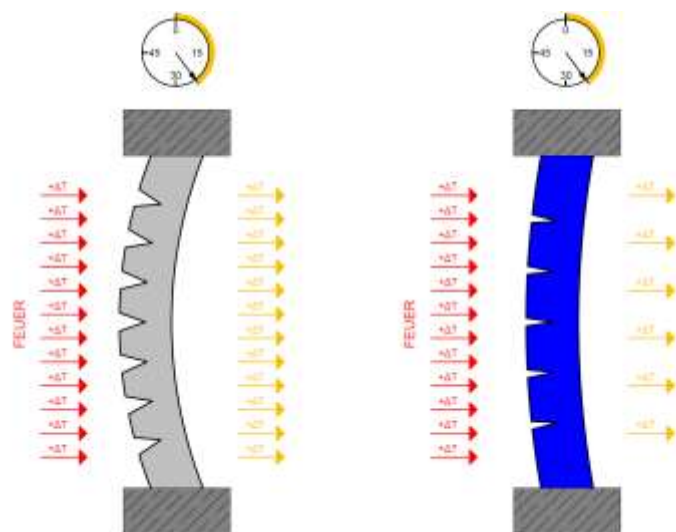
- 1) dem Zeitpunkt der Temperaturerhöhung nach der Probekörperentwässerung,
- 2) dem Maximalwert der Plattenrückseitentemperatur,
- 3) der Größe und der Anzahl der Risse,
- 4) der Plattenstabilität nach der Wärmebeanspruchung,
- 5) der Verkürzung von prismatischen Probekörpern.

Besonders wichtig war hierbei die Charakterisierung der Auswirkungen einer simulierten Brandbeanspruchung von 970 °C über 90 Minuten auf Labor-Gipsplatten. Dabei wurde die Temperaturänderung auf der Plattenrückseite über den gesamten Prüfzeitraum kontinuierlich erfasst. Die Bewertung des Zusammenhalts der Platten nach der thermischen Beanspruchung erfolgte erstmals quantitativ über Anzahl und Größe der an den Proben entstandenen Risse. Ursächlich für die Rissbildung ist die Verringerung des Probekörpervolumens infolge des ausgetriebenen Kristallwassers. Da dieser Parameter im Plattenversuch nicht bestimmt werden kann, wurde ergänzend das Längenänderungsverhalten von Prismen im Ergebnis einer 90minütigen Temperung bei 1000 °C im Muffelofen ermittelt.

Besonders vorteilhaft hat sich die Zugabe von 80 g/m<sup>2</sup> Glasfasern und 7,75 % Kalksteinmehl auf das Verhalten von Gipsplatten bei Brandbeanspruchung

ausgewirkt. Diese Verbesserung ist insbesondere auf höhere Stabilität und geringere Schrumpfung der Gipsplatte zurückzuführen.

Basierend auf den im Labormaßstab erhaltenen Ergebnissen wurden Rezepturvorschläge zur Verbesserung des Feuerwiderstandsverhaltens von Gipsplatten unter Praxisbedingungen entwickelt. Die Herstellung der erforderlichen großformatigen Platten erfolgte auf der Bandstraße der Knauf Gips KG. Diese Platten wurden als Wandkonstruktion mit zweilagiger Beplankung einer großtechnischen Prüfung erfolgreich unterzogen. Eine geringere Durchbiegung der Wandkonstruktion, eine verminderte Volumenreduzierung der Platten sowie eine erhöhte Plattenstabilität belegen die verbesserten Eigenschaften dieser modifizierten Feuerschutzplatte (Abbildung 58).

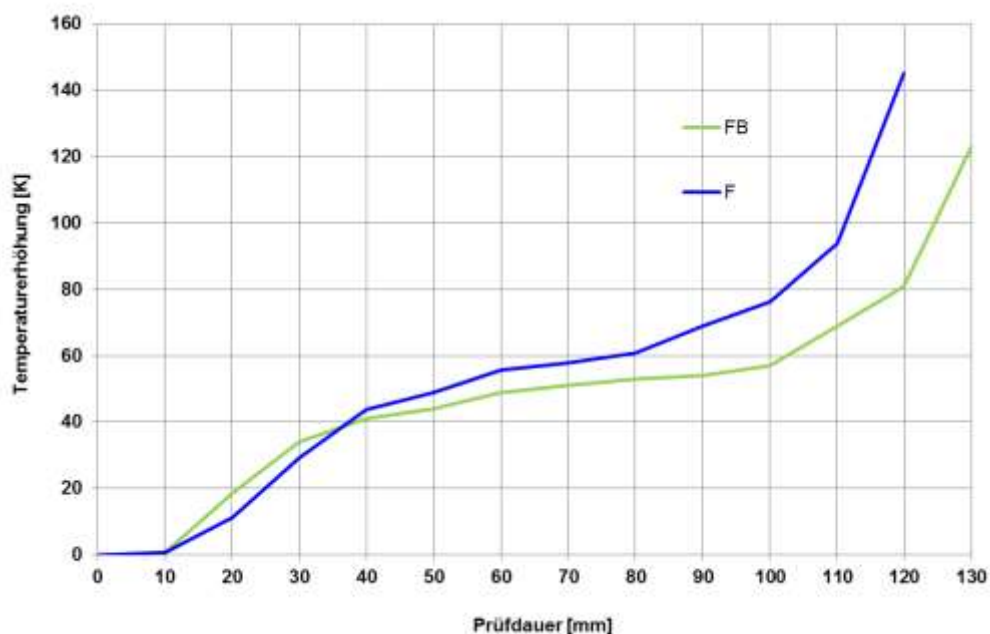


**Abbildung 58. Modell des Verhaltens einer Metallständerwand bei Feuerbeanspruchung mit handelsüblicher (links) und rezepturverbesserter (rechts) Gipsplatte: geringere Durchbiegung und günstigere Rissbildung führt zu vermindertem Wärmedurchgang.**

Weitere durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass es unerheblich ist, ob die Platten auf Basis von Natur- oder REA-Gips bzw. mit hohem oder niedrigem Flächengewicht gefertigt wurden. Das eindeutig beste Ergebnis mit einer Feuerwiderstandsdauer von 118 Minuten hat eine Wandkonstruktion aus Feuerschutzplatten auf Basis eines Stuckgipses aus 100 % REA-Gips mit einem Anteil von 83,9 g/m<sup>2</sup> Glasfasern und 1 % Vermiculit und einem Flächengewicht von 10,77 kg/m<sup>2</sup>, bei einer Plattenstärke von 12,5 mm.

Die als Ziel vorgegebene Feuerwiderstandsdauer von 120 Minuten bei zweilagiger Beplankung ohne Dämmstoff könnte künftig erreicht werden, wenn es gelingt, die Volumenreduzierung noch besser zu kompensieren und die Plattenstabilität zu steigern. Eine Möglichkeit hierzu ist die Substitution der beidseitigen Kartonlagen durch eine Glasfaser-Vliesummantelung. Die Wandkonstruktion W112 ohne Dämmstoff erreicht dabei eine Feuerwiderstandsdauer von weit über 120 Minuten, wobei der Gipskern mit Glasfasern armiert ist.

(Abbildung 59 und im Anhang A VII Abbildung 119).



**Abbildung 59. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung einer Wandkonstruktion mit Gipsplatten mit Vliesummantelung (FB-grüne Kurve) im Vergleich zu einer herkömmlichen Feuerschutzplatte (F- blaue Kurve).**

Bei künftigen Untersuchungen zum Brandverhalten von Gipsplatten ist der Laborprüfstand den wirklichen Einsatzbedingungen besser anzupassen. Um die Befestigung der Platten an der Wandkonstruktion realitätsnah nachzuvollziehen, müsste der Querschnitt der Brennkammer auf 60 cm x 60 cm vergrößert werden. Veränderungen des Rissbildes infolge Abkühlung gilt es zukünftig zu vermeiden. Daher muss die Ausbildung der Risse bereits während der Brandbeanspruchung der Gipsplatten kontinuierlich aufgezeichnet werden. Denkbar hierfür wäre die Nutzung einer speziellen Wärmebildkamera.

## 11. Literaturverzeichnis

1. Verband der Polnischen Gipsindustrie – www Seite.
2. Bundesverband der Gipsindustrie e.V. Gips-datenbuch 2006.
3. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 520, Deutsche Fassung Gipsplatten - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren.
4. Thomas G. Fire and Materials. Thermal Properties of Gypsum Plasterboard at High Temperatures. 2002
5. Wikipedia die freie Enzyklopädie.
6. Drysdale D. An Introduction to Fire Dynamics. John Wiley and Sons: Chochester, 1985
7. Harmathy TZ. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Section 1 Chapter 26. Society of Fire Protection Engineers/National Fire Protection Association: Boston, 1988.
8. Bénichou N, Mehaffey JR, Sultan MA., Takeda, H., Proc. Wood and Fire Safety International Scientific Conference, Zwolen, Slovak Republic 2000.
9. Sterner E, Wickstrom U. TASEF – Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire. Fire Technology SP Report 1990:05, Swedish National Testing Institute, Stockholm, Sweden
10. Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc. ABAQUS User Manuals. Version 5.4. Pawtucket, Rhode Island, 1994.
11. Thomas G. Fire Resistance of Light Timber Framed Walls and Floors, Dissertation, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand 1997
12. Ullman's Encyclopedia of industrial chemistry. Sixth Edition. Germany 1998
13. Andersson L, Jansson B. Analytical Fire Design with Gypsum - A Theoretical and Experimental Study. Institute of Fire Safety Design: Lund 1987.
14. Mehaffey JR, Cuierrier P, Carisse GA. Fire and Materials, vol. 18 1994. A Model predicting heat transfer though gypsum-board/wood-stud walls exposed to fire.
15. Groves AW. Gypsum and Anhydrite. Overseas Geological Surveys, Mineral resources Division. Her Majesty's Stationary Office: London, 1958.
16. Stanish AJ. 1994, Mechanical Properties of Gypsum Plasterboard. Third Professional Year Research Project Report. Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
17. Bénichou N, Sultan MA. Proc. Fire and Materials Conference. San Francisco, California, United States. Interscience Communications: London 2001; 447-458.
18. Sultan M.A. Fire technology Third Quarter 1996. A Model predicting heat transfer though noninsulated unloaded steel-stud gypsum board wall assemblies exposed to fire.
19. Sanders J.P., Gallagher P.K. Thermochimica Acta 388(2002). Kinetic analyses using simultaneous TG/DSC measerments. Part 1: decomposition of calcium carbonate in argon.
20. Bakhtiary SB, Jafapoor F, Firoozyar F. Asian J. Civil Eng. (Building and Housing) 2000; 1: 67-82
21. L'vov B.V. and Ugolkov V.L. Thermochimica Acta, 409(1) 2004. Kinetics of free surface decomposition of magnesium, strontium and barium carbonates analyzed thermo gravimetrically by the third-law method.
22. Deutsches Institut für Normung. DIN 17052-1 Wärmebehandlungsöfen - Teil 1: Anforderungen an die Temperaturgleichmäßigkeit
23. McIntosh R.M., Sharp J.H., Wilburn F.W. Thermochimica Acta, 165 (1990) The Thermal Decomposition of Dolomite
24. Kassautzki M. Zement-Kalk-Gips Nr.12 / 1983 Phonolith als puzzolanischer Zumahlstoff in der Zementindustrie
25. Knauf Gips KG. Brandschutz mit Knauf. Knauf Bauphysik. Ausgabe 04/2007.
26. Knauf Gips KG. Detailblatt Knauf K751 Fireboard Spezial-Gipsplatte A1 für den Brandschutz. Ausgabe 06/2008.
27. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1363-1 Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:1999
28. Deutsches Institut für Normung. DIN 18168-1 Gipsplatten-Deckenbekleidungen und Unterdecken - Teil 1: Anforderungen an die Ausführung. Ausgabe 2007-04
29. Deutsches Institut für Normung. DIN 18180 Gipsplatten - Arten und Anforderungen. Ausgabe 2007-01
30. Deutsches Institut für Normung. DIN 18181 Gipsplatten im Hochbau – Verarbeitung. Ausgabe 2008-10

31. Deutsches Institut für Normung. DIN 18183-1. Trennwände und Vorsatzschalen aus Gipsplatten mit Metallunterkonstruktionen - Teil 1: Beplankung mit Gipsplatten. Ausgabe 2009-05
32. Deutsches Institut für Normung. DIN 18184 Gipsplatten-Verbundelemente mit Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaum als Dämmstoff Ausgabe 2008-10
33. Deutsches Institut für Normung. DIN 4103-4 Nichttragende innere Trennwände; Unterkonstruktion in Holzbauart Ausgabe 1988-11
34. Deutsches Institut für Normung. DIN 66165-1 Partikelgrößenanalyse; Siebanalyse; Grundlagen Ausgabe 1987-04
35. Deutsches Institut für Normung. DIN 51603-1 Flüssige Brennstoffe - Heizöle - Teil 1: Heizöl EL, Mindestanforderungen Ausgabe : 2008-08
36. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 14195 Metallprofile für Unterkonstruktionen von Gipsplattensystemen - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 14195:2005
37. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 13963 Materialien für das Verspachteln von Gipsplatten-Fugen - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 13963:2005
38. Kommission der Europäischen Gemeinschaften. 2006/673/EG: Entscheidung der Kommission vom 5. Oktober 2006 zur Änderung der Entscheidung 2003/43/EG zur Festlegung der Brandverhaltensklassen für bestimmte Bauprodukte (Gipskartonplatten)
39. Knauf Gips KG. Detailblatt W11 Knauf Metallständerwände Ausgabe 07/2005.
40. Die Bauministerkonferenz, die Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der 16 Länder (ARGEBAU), Musterbauordnung, MBO Fassung November 2002
41. Das Deutsche Institut für Bautechnik. Bauregelliste Teil A, Ausgabe 2002/1
42. Schweizerischer Verband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie Gipstrockenbau – Planung und Ausführung. Ausgabe 1/05:
43. Boes M., Leithold D., Hrachowy F. Trockenbaumonteure, Technologie Auflage, 2004
44. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1363-2. Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren; Deutsche Fassung EN 1363-2:1999
45. Europäisches Komitee für Normung. DIN V ENV 1363-3 Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 3: Nachweis der Ofenleistung; Deutsche Fassung ENV 1363-3:1998
46. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1364-1. Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile - Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1364-1:1999.
47. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1364-2. Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile - Teil 2: Unterdecken; Deutsche Fassung EN 1364-2:1999.
48. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1364-3. Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile - Teil 3: Vorhangfassaden - Gesamtausführung; Deutsche Fassung EN 1364-3:2006.
49. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1364-4 Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile - Teil 4: Vorhangfassaden - Teilausführung; Deutsche Fassung EN 1364-4:2007
50. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-1. Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile - Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1365-1:1999
51. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1634-1. Feuerwiderstandsprüfungen und Rauchschutzprüfungen für Türen, Tore, Abschlüsse, Fenster und Baubeschlüsse – Teil 1: Feuerwiderstandsprüfungen für Türen, Tore, Abschlüsse und Fenster; Deutsche Fassung EN 1634-1:2008.
52. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1634-2. Prüfungen zum Feuerwiderstand und zur Rauchdichte für Feuer- und Rauchschutzabschlüsse, Fenster und Beschläge - Teil 2: Charakterisierungsprüfungen zum Feuerwiderstand von Beschlägen; Deutsche Fassung prEN 1634-2:2006.
53. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1634-3. Prüfungen zum Feuerwiderstand und zur Rauchdichte für Feuer- und Rauchschutzabschlüsse, Fenster und Beschläge - Teil 3: Rauchschutzabschlüsse; Deutsche Fassung EN 1634-3:2004.
54. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-1. Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen - Teil 1: Leitungen; Deutsche Fassung EN 1366-1:1999.
55. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-2 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 2: Brandschutzklappen; Deutsche Fassung EN 1366-2:1999

56. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-4 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen - Teil 4: Abdichtungssysteme für Bauteilfugen; Deutsche Fassung EN 1366-4:2006
57. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-5 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 5: Installationskanäle und -schächte; Deutsche Fassung EN 1366-5:2003
58. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-6 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 6: Doppel- und Hohlböden; Deutsche Fassung EN 1366-6:2004
59. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-7 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 7: Förderanlagen und ihre Abschlüsse; Deutsche Fassung EN 1366-7:2004
60. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-8 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 8: Entrauchungsleitungen; Deutsche Fassung EN 1366-8:2004
61. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-9 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 9: Entrauchungsleitungen für einen Einzelabschnitt; Deutsche Fassung EN 1366-9:2008
62. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1366-10 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen - Teil 10: Entrauchungsklappen; Deutsche Fassung prEN 1366-10:2004
63. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 14135. Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung; Deutsche Fassung EN 14135:2004.
64. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 13501-1. Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2007
65. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 13501-2. Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2007.
66. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 13501-3. Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 3: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen an Bauteilen von haustechnischen Anlagen: Feuerwiderstandsfähige Leitungen und Brandschutzklappen; Deutsche Fassung EN 13501-3:2005.
67. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 14190. Gipsplattenprodukte aus der Weiterverarbeitung - Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 14190:2005.
68. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-1. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1998-05, Deutsch.
69. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-1 Berichtigung 1. Berichtigung zu DIN 4102-1:1998-05. Ausgabe 1998-08, Deutsch.
70. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-2. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09, Deutsch.
71. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-3. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09, Deutsch.
72. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-4. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Ausgabe 1994-03, Deutsch.
73. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-4/A1. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Änderung A1. Ausgabe : 2004-11, Deutsch.
74. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-5. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Feuerschutzabschlüsse, Abschlüsse in Fahrschachtwänden und gegen Feuerwiderstandsfähige Verglasungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09, Deutsch.
75. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-6. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Lüftungsleitungen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1977-09, Deutsch.
76. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-7. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 7 Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1998-07, Deutsch.



77. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-8. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 8: Kleinprüfstand. Ausgabe 2003-10, Deutsch.
78. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-9. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Kabelabschottungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1990-05, Deutsch.
79. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-11. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Rohrummantelungen, Rohrabschottungen, Installationsschächte und -kanäle sowie Abschlüsse ihrer Revisionsöffnungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1985-12, Deutsch.
80. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-12. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 12: Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen; Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1998-11, Deutsch.
81. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-13. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandschutzverglasungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabe 1990-05, Deutsch.
82. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-14 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bodenbeläge und Bodenbeschichtungen; Bestimmung der Flammenausbreitung bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler. Ausgabe 1990-05, Deutsch.
83. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-15 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandschacht. Ausgabe 1990-05, Deutsch.
84. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-16 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 16: Durchführung von Brandschachtprüfungen. Ausgabe 1998-05, Deutsch.
85. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-17 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Schmelzpunkt von Mineralfaser-Dämmstoffen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung. Ausgabe 1990-12, Deutsch.
86. Deutsches Institut für Normung. DIN 4102-18. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Feuerschutzabschlüsse; Nachweis der Eigenschaft "selbstschließend" (Dauerfunktionsprüfung). Ausgabe 1991-03, Deutsch.
87. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-2  
Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 2: Decken und Dächer; Deutsche Fassung EN 1365-2:1999
88. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-3  
Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 3: Balken; Deutsche Fassung EN 1365-3:1999
89. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-4  
Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 4: Stützen; Deutsche Fassung EN 1365-4:1999
90. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-5  
Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 5: Balkone und Laubengänge; Deutsche Fassung EN 1365-5:2004
91. Europäisches Komitee für Normung. DIN EN 1365-6  
Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 6: Treppen; Deutsche Fassung EN 1365-6:2004
92. Gebr. Pfeiffer AG. Broschüre: Kompetenz in Gips
93. Wieteska, M.; Hummel, H.-U.; Dietsch, S.; Fischer, H.-B. Улучшение огнестойкости гипсовых плит (Verbesserung der Feuerbeständigkeit von Gipsplatten) In: Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика. Ulan-Ude, 2012. – S. 211 – 214
94. Виетеска, М.; Хуммель, Х.-У.; Дич, С.; Фишер, Х.-Б. Оценка огнестойкости гипсовых листов (Beurteilung der Feuerbeständigkeit von Gipsplatten)  
In: материалы VI. Международной научно-практической конференции „Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий.“ Perm / Russland, 2012. – ISBN: 5-93536-084-5. – S. 178 – 191
95. Wieteska, M.; Hummel, H.-U.; Dietsch, S.; Fischer, H.-B. Bewertung der Rissbildung von Gipsplatten bei thermischer Beanspruchung  
In: Weimar, 2012. - 18. ibausil,  
Tagungsband 1. – ISBN: 978-3-00-034075-8. – S. 1151 – 1159

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials haben mir keine anderen Personen in irgendeiner Weise entgeltlich/unentgeltlich geholfen. Weitere Personen waren an der inhaltlichmateriellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderer Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten

Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Weimar 04.04.2012

Marcin Wieteska

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Vor- und Nachname: Marcin Wieteska  
Geburtsdatum und -ort: 14. Juni 1973, Warschau  
Anschrift: ul. Korzona 111 m. 45  
03-571 Warschau  
Telefon: privat +48 22 403 56 55  
mobil +48 601 30 88 73  
Staatsangehörigkeit: polnisch  
Familienstand: verheiratet



### Ausbildung

1989 - 1993 **VI. Allgemeinbildendes T.-Reytan-Gymnasium in Warschau**

1994 - 2001 **Technische Hochschule Warschau  
Fakultät Hoch- und Tiefbau - Fachrichtung Bauwesen**  
Abschluss als Diplom-Ingenieur  
(Master of Science, Civil engineer)  
**Note: sehr gut**

2007 **Bauhaus-Universität Weimar**  
F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, externer Doktorand

### Berufserfahrung

1998 Projektant im Installationsunternehmen Rupol Izolacje

1999 Assistent des Bauleiters sowie verantwortlicher Mitarbeiter für die technische Aufsicht bei der Modernisierung der Hauptbahnstrecke E20, ausgeführt von der Firma PRK POZNAŃ SA

1999 - 2002 Selbständiger Projektant, Aufsicht über Montagearbeiten von Industriehallen und Hypermärkten (RAUTARUUKKI POLSKA)

2002 - 2003 Knauf Sp. z o. o. - Zentrales Vertriebsbüro  
Technischer Berater  
Spezialist für Zertifizierung, Brandschutz und Bauakustik

2003 bis jetzt Knauf Sp. z o. o. – Abteilung für Technik, Produktentwicklung und Zertifizierung - Abteilungsleiter

## **Anlagen**

A I.	Ergänzung zu Abschnitt 2.2.....	I
A II.	Ergänzung zu Abschnitt 2.2.....	IV
A III.	Ergänzung zu Abschnitt 4.3.....	VI
A IV.	Die untersuchten Additive und Zuordnung zu Wirksamkeitsklassen .....	IX
A V.	Ergänzung zu Abschnitt 6.....	XXIX
A VI.	Ergänzung zu Abschnitt 9.....	XLVII
A VII.	Ergänzung zu Abschnitt 10.....	XLVIII
A VIII.	Normen und Vorschriften.....	LXVI

## A I. Ergänzung zu Abschnitt 2.2

Kriterium 1 ist die Zeit in Minuten, die benötigt wird, bis die Temperatur im Punkt A (Stosspunkt der Platte und des Holzständers an der Feuerseite - siehe Abbildung 60) auf 139 °C steigt.

Kriterium 2 ist die Zeit in Minuten, die benötigt wird, bis die Temperatur im Punkt A 288 °C erreicht (Stosspunkt der Platte und des Holzständers an der Feuerseite; siehe Abbildung 60).

Kriterium 3 ist die Zeit in Minuten, bis die Temperatur im Punkt D (Oberfläche der Gipsplatte auf der Außenseite - siehe Abbildung 60) 139 °C erreicht.

In den Abbildungen (siehe Abbildung 61 bis 63) werden die Simulationsergebnisse mit den Prüfergebnissen verglichen.

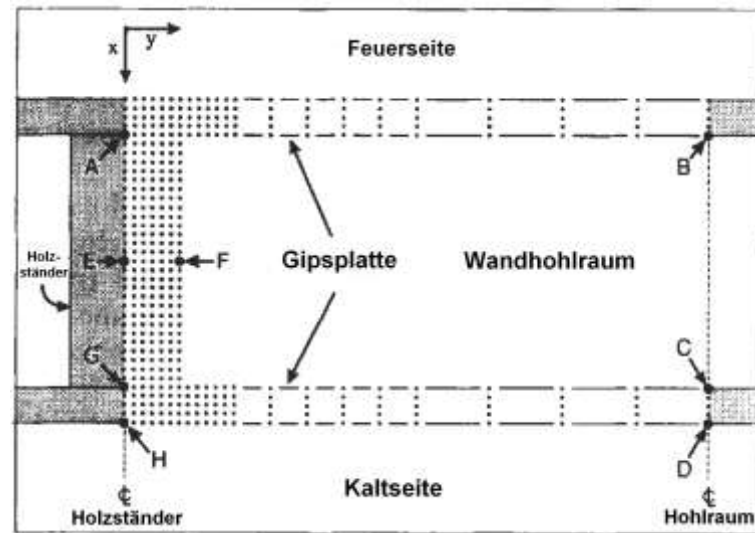


Abbildung 60. Messstellen im Wandquerschnitt [14].

- Konstruktion Nr. 1: 4 Lagen Gipskartonplatte Typ 1 12,7 mm ohne Ständer (Kleinprüfstand).
- Konstruktion Nr. 2: 1 Lage Gipskartonplatte 12,7 mm auf jeder Seite auf Holzständern. Kleinprüfstand
- Konstruktion Nr. 3: 1 Lage Gipskartonplatte 15,9 mm auf jeder Seite auf Holzständern. Kleinprüfstand
- Konstruktion Nr. 4: 2 Lagen Gipskartonplatten 15,9 mm auf jeder Seite auf Holzständern. Kleinprüfstand
- Konstruktion Nr. 5: 1 Lage Gipskartonplatte 15,9 mm auf jeder Seite auf Holzständern. Großer Wandprüfstand.
- Konstruktion Nr. 6: 1Lage Gipskartonplatte 15,9 auf jeder Seite auf Holzständern. Großer Wandprüfstand.[14]

Tabelle 27. Vergleich der Ergebnisse von den Prüfungen und den Computermodeill [14].

Prüfungs- nummer	Kriterium 1 [Min:sek]		Kriterium 2 [Min:sek]		Kriterium 3 [Min:sek]	
	Test	Modell	Test	Modell	test	Modell
2	19:11	18:43	22:54	23:44	51:08	59:37
3	24:09	21:50	28:19	27:53	66:40	73:01
4	59:38	55:07	69:39	67:36	135:00 <sup>1</sup>	160:00 <sup>2</sup>
5	16:11	16:15	20:00	21:34	50:00 <sup>3</sup>	57:36
6	21:50	19:30	25:25	25:46	60:00 <sup>4</sup>	70:52

(1) Die Prüfung Nummer 4 wurde in der 135 Minute gestoppt. Kriterium 3 ist nicht vorgekommen.

(2) Die Simulation wurde in der 160 Minute gestoppt. Kriterium 3 ist nicht vorgekommen.

(3) Die Prüfung Nummer 5 wurde in der 50 Minute gestoppt auf Grund der Konstruktionsbeschädigung. Kriterium 3 ist nicht vorgekommen.

(4) Die Prüfung Nummer 6 wurde in der 60 Minute gestoppt auf Grund der Konstruktionsbeschädigung. Kriterium 3 ist nicht vorgekommen.

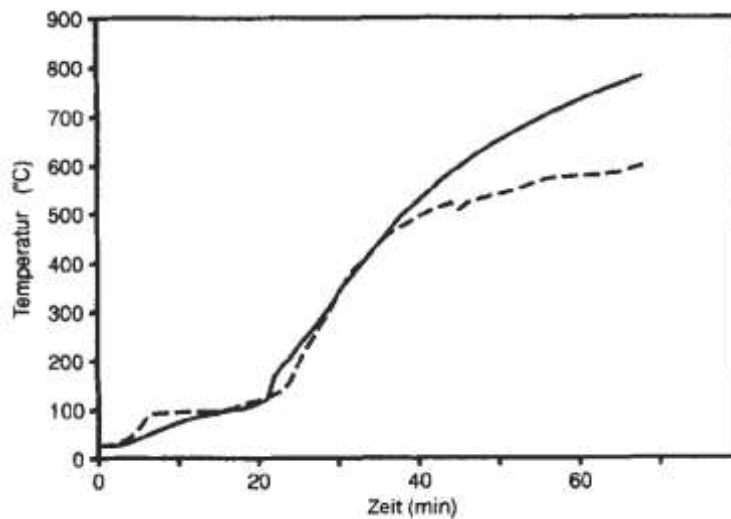


Abbildung 61. Temperaturkurve im Punkt A gemäß Abbildung 60. Computermodell – Volllinie, Laboruntersuchung – Strichlinie [14].

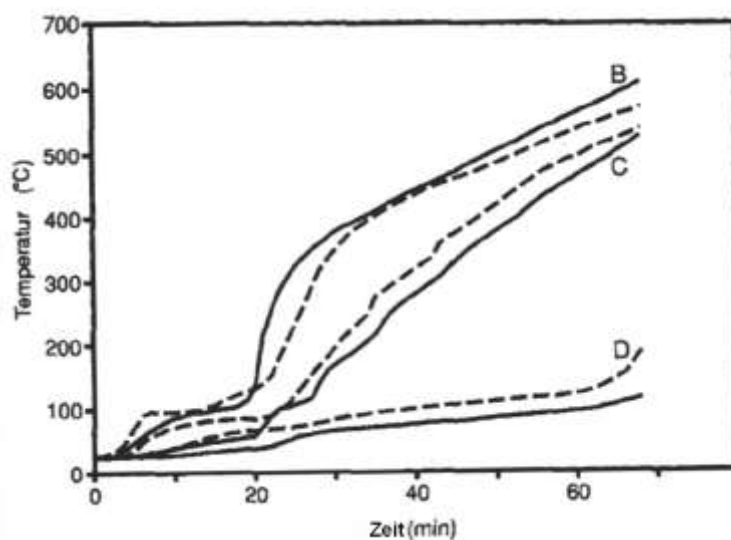


Abbildung 62. Temperaturkurve in den Punkten B, C, D gemäß Abbildung 60. Computermodell – Volllinie, Laboruntersuchung – Strichlinie [14].

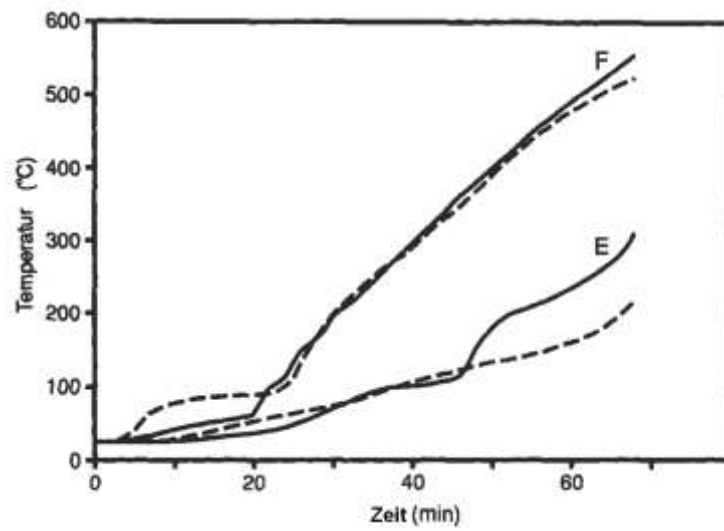


Abbildung 63. Temperaturkurve in den Punkten E, F gemäß Abbildung 60. Computermode – Volllinie, Laboruntersuchung – Strichlinie [14].

## A II. Ergänzung zu Abschnitt 2.2

Die erste Konstruktion hat eine beidseitige Beplankung aus Gipsplatten der Stärke 15,9 mm. Die zweite Konstruktion bestand aus einer einfachen Beplankung aus 12,7 mm starken Gipskartonplatte auf der Feuerseite und einer doppelten Beplankung aus 12,7 mm starken Gipskartonplatte auf der Außenseite; siehe Abbildung 65. Beide Ständerkonstruktionen waren aus C-Stahlprofilen der Blechdicke 0,46 mm mit einem Achsenabstand von 600 mm (Breite 30 mm, Höhe 90 mm) aufgebaut.

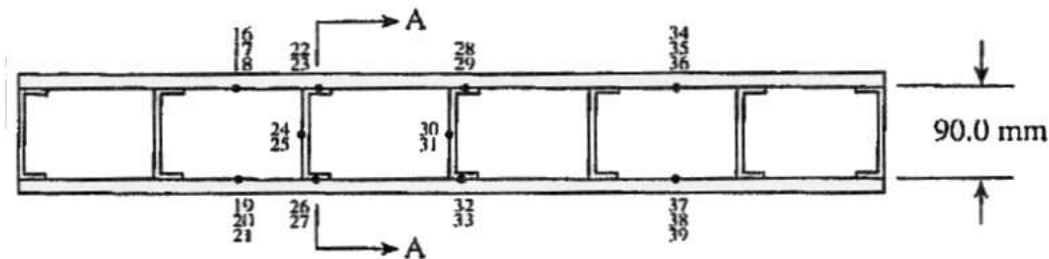


Abbildung 64. Messstellenplan im Wandquerschnitt der Konstruktion Nummer 1 [18].

Beschreibung der Messstellen:

Messstellen 22,23,28,29 – BL/SStd.[exp.]

Messstellen 16,17,18,34,35,36 – BL/Cav.[exp.]

Messstellen 26,27,32,33 – BL/SStd[unexp.]

Messstellen 19,20,21,37,38,39 – BL/Cav.[unexp.]

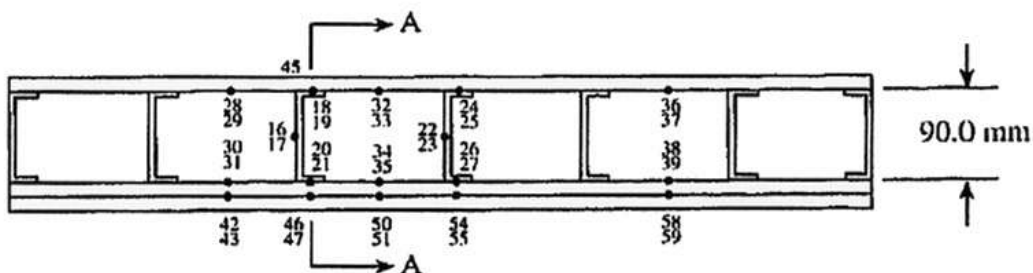


Abbildung 65. Messstellenplan im Wandquerschnitt der Konstruktion Nummer 2 [18].

Beschreibung der Messstellen:

Messstellen 18,19,24,25 – BL/SStd.[exp.]

Messstellen 28,29,32,33,36,37 – BL/Cav.[exp.]

Messstellen 20,21,26,27 – BL/SStd[unexp.]

Messstellen 30,31,34,35,,38,39 – BL/Cav.[unexp.]

Messstellen 42,43,50,55,58,59 – BL/FL[unexp.]



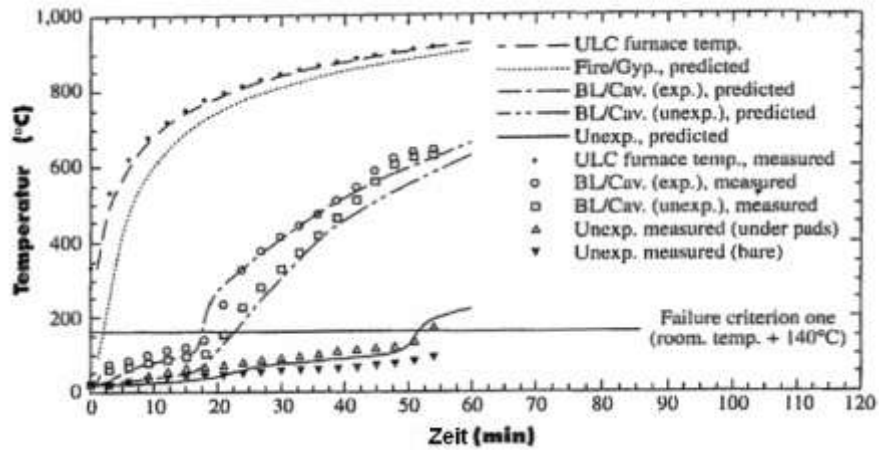


Abbildung 66. Temperaturkurven an Messstellen im Konstruktion Nr. 1 [18].

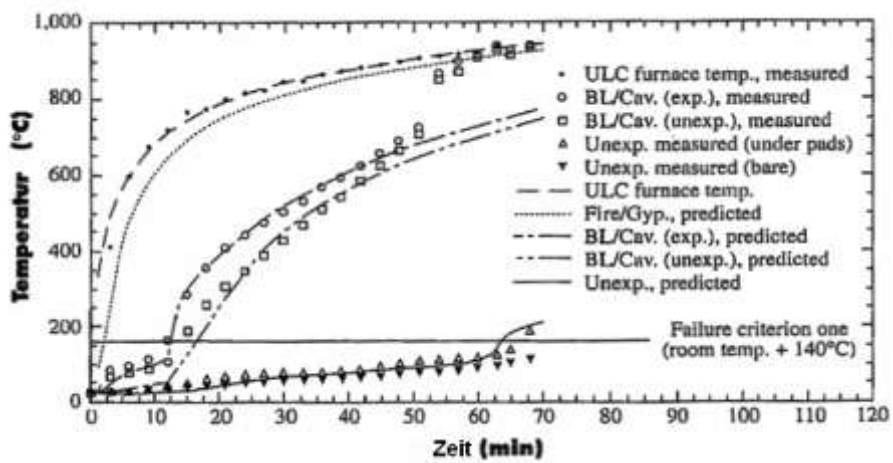


Abbildung 67. Temperaturkurven an Messstellen in Konstruktion Nr. 2 [18].

### A III. Ergänzung zu Abschnitt 4.3

#### Baustoffe mit Glasfasern

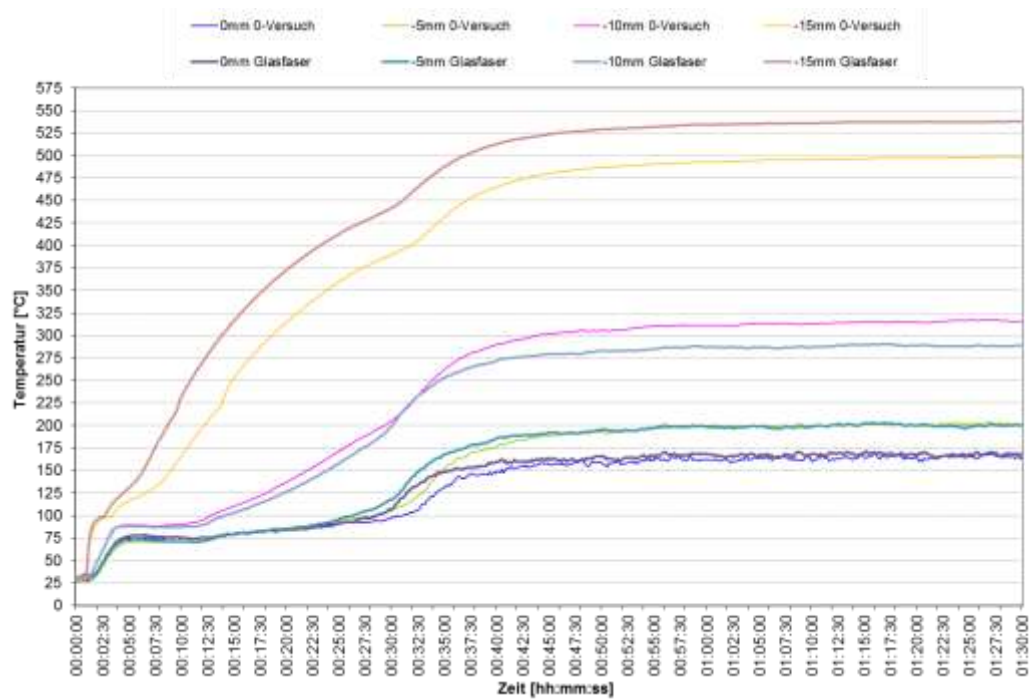


Abbildung 68. Temperaturverlauf bei Proben mit 0,76% und ohne Glasfaserzusatz.



Abbildung 69. REM Foto einer Plattenprobe mit 0,45% Glasfasern vor der Untersuchung im Muffelofen.

## Baustoffe mit Vermiculiten

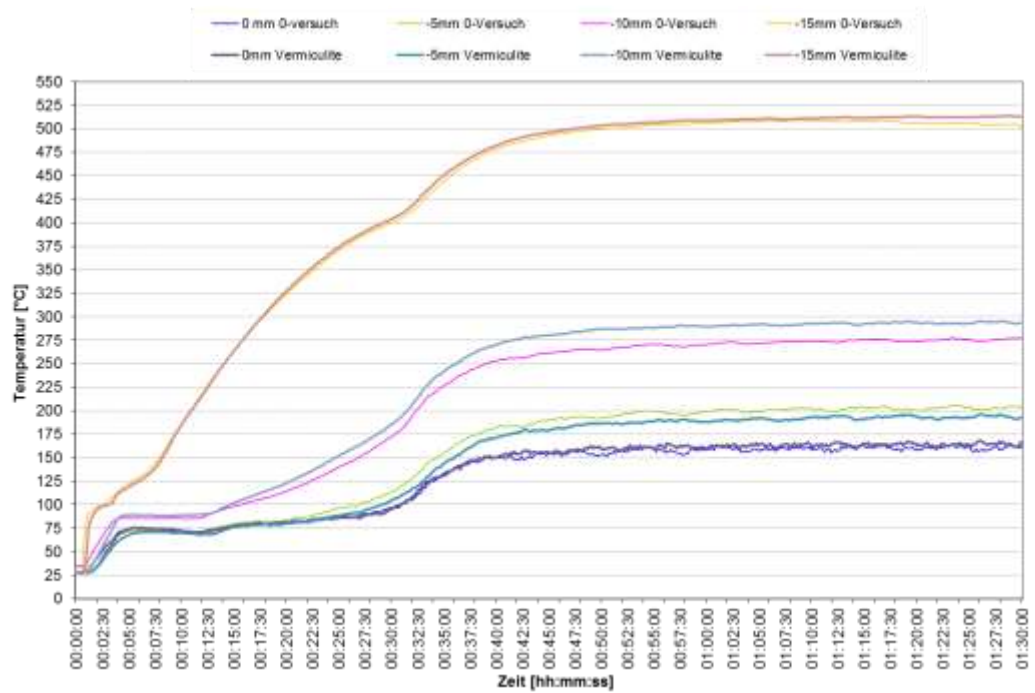


Abbildung 70. Temperaturverlauf bei Proben aus REA-Gips mit 1% und ohne Vermiculiten.

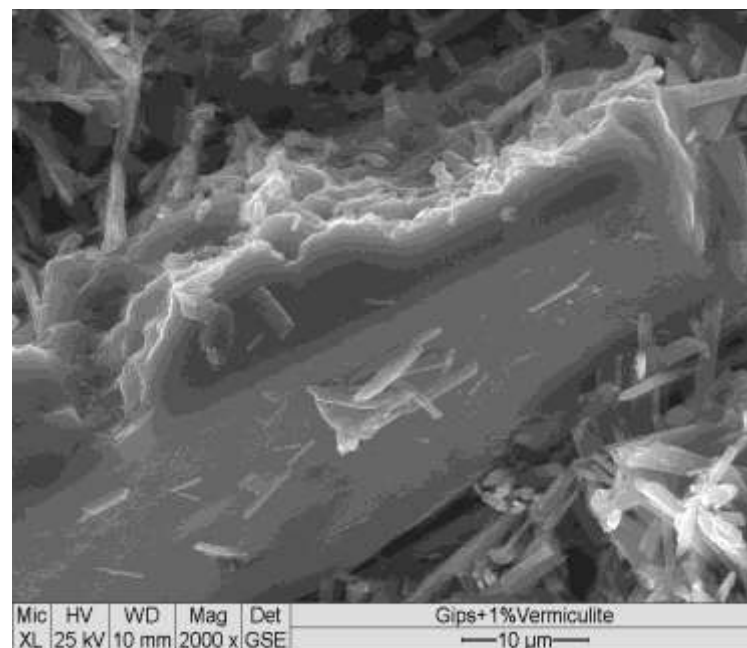


Abbildung 71. REM Foto einer Plattenprobe mit 1% Vermiculiten vor der Untersuchung im Muffelofen.

## Baustoffe mit Rohperliten

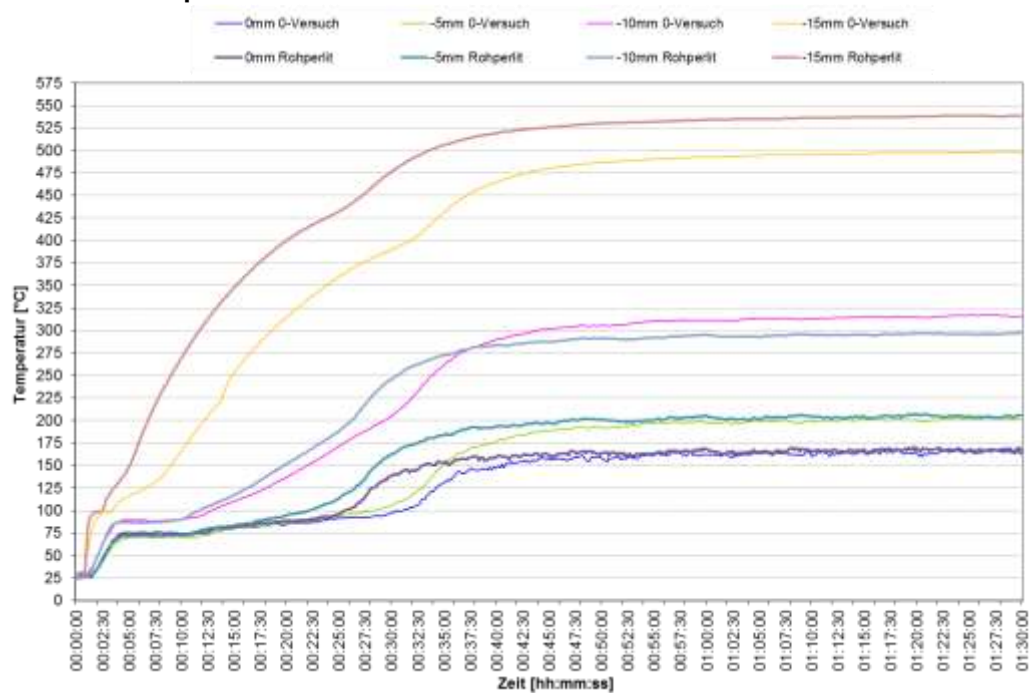


Abbildung 72. Temperaturverlauf bei Proben aus REA-Gips mit 20% und ohne Rohperlite.

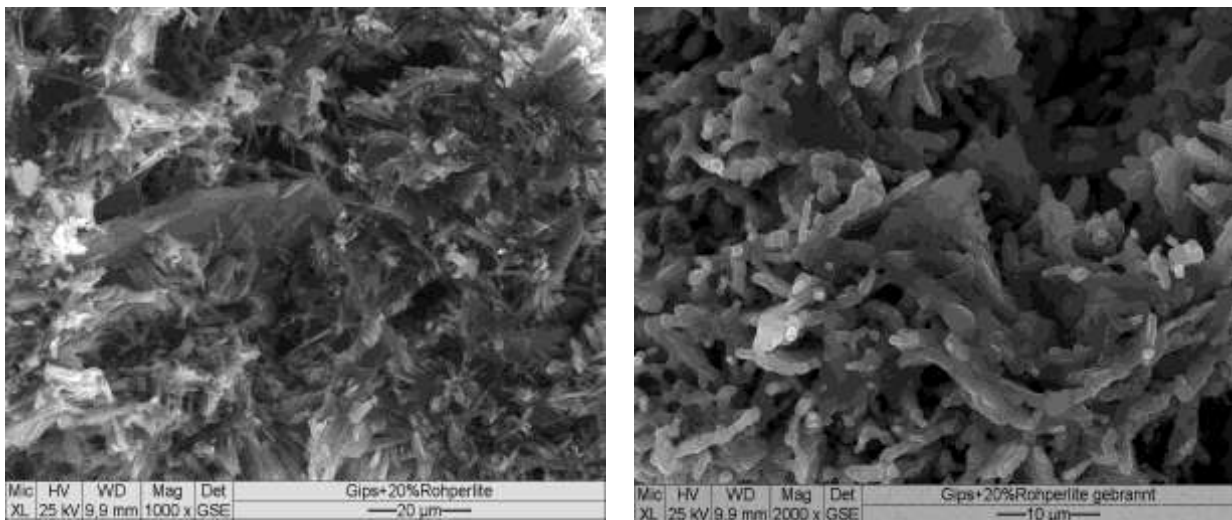


Abbildung 73. REM Foto einer Plattenprobe mit 20 % Rohperliten vor und nach der Untersuchung.

#### A IV. Die untersuchten Additive und Zuordnung zu Wirksamkeitsklassen

Die im Rahmen der vorliegenden Dissertation betrachteten Additive wurden thermogravimetrisch und thermomechanisch charakterisiert. Ferner wurde der Kornaufbau untersucht.

##### Zeolithe

Zeolithe gehören zur Stoffgruppe der Alumosilikate, die in zahlreichen Modifikationen in der Natur vorkommen, aber auch synthetisch hergestellt werden können. Die Zusammensetzung dieser Stoffgruppe ist:  $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$  (mit  $n$ =Ladung von  $M$ , meist 1, 2). Zeolithe können Wasser und andere niedermolekulare Stoffe aufnehmen, und beim Erhitzen wieder abgeben, ohne dass ihre makroskopische Hohlraumstruktur zerstört wird. Mehr als 150 verschiedene Zeolith-Varianten sind synthetisiert worden, 48 natürlich vorkommende Zeolithe sind bekannt [5].

##### Natürliche Zeolithe

Clinoptilolit hat die chemische Zusammensetzung  $(Ca, K_2, Na_2, Mg)_4 Al_8Si_{40}O_{96} \cdot 24 H_2O$ . Die Schwankungsbreiten der mineralogischen Hauptphasen sind:

SiO <sub>2</sub>	65,0 -71,3%
MgO	0,6-1,2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,5-13,1%
Na <sub>2</sub> O	0.2-1,3%
CaO	2.7-5,2%
TiO	0.1-0,3 %
K <sub>2</sub> O	2.2-3,4%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7-1,9%
Si / Al	4.8-5,4%

Das Kristallwasser ist im Mineral unterschiedlich stark gebunden und wird folglich bei unterschiedlichen Temperaturen freigesetzt. Insgesamt kann man im Temperaturbereich zwischen RT und 950 °C zwei Massenverluste detektieren, die dem Verlust des Kristallwassers zugeordnet werden.

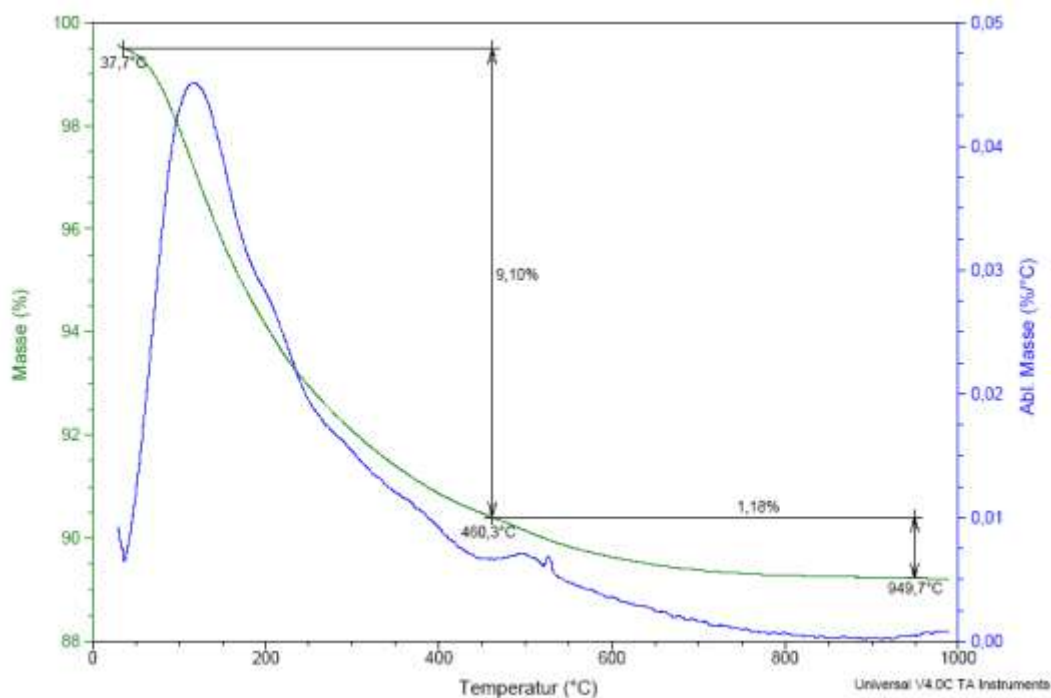


Abbildung 74. TGA-Untersuchung von Clinoptilolit.

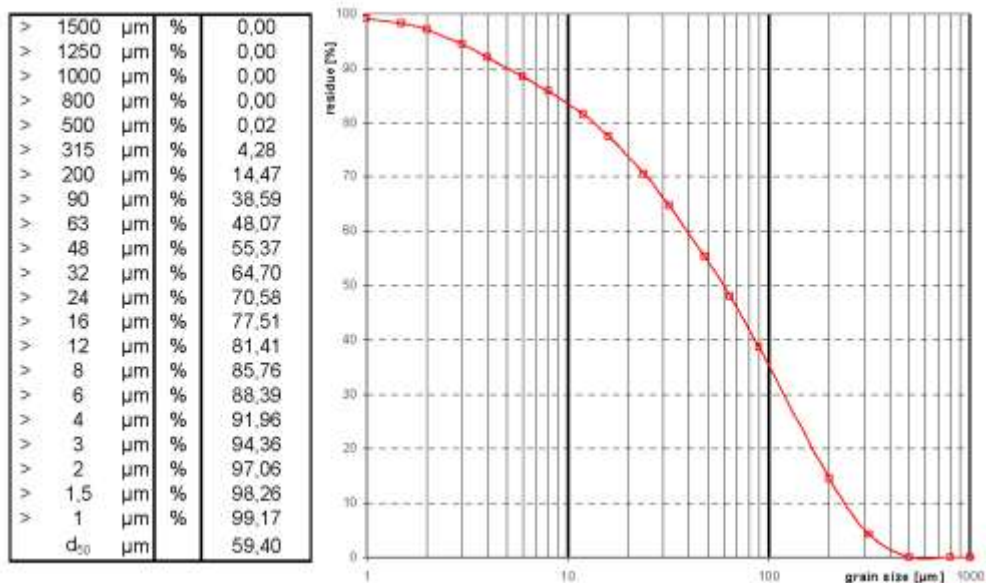


Abbildung 75. Korngrößenverteilung des eingesetzten Clinoptilolit.

### Synthetischer Zeolith

Aus der Substanzklasse der synthetischen Zeolithe wurde Faujasit untersucht. Das synthetische Mineral hat die chemische Zusammensetzung  $K_{69,8}Al_{69,8}Si_{122,2}O_{384}247 \cdot H_2O$ . Das Kristallwasser von Faujasit wird zwischen 35 °C und 490 °C abgegeben (Abbildung 76)

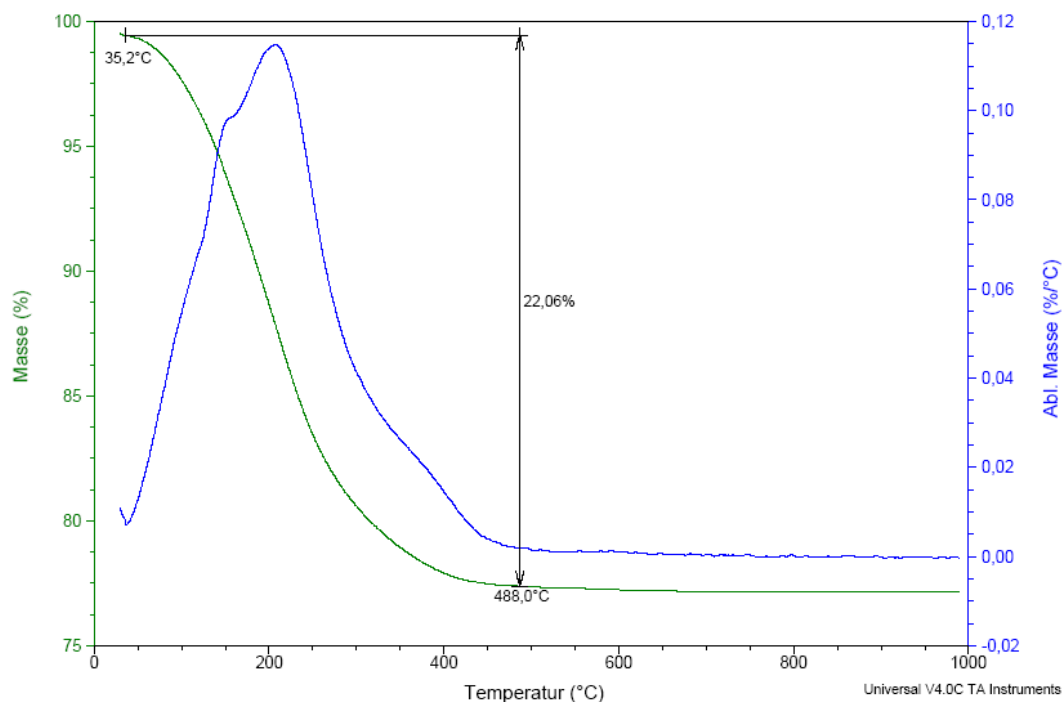


Abbildung 76. TGA-Untersuchung von Faujasit.



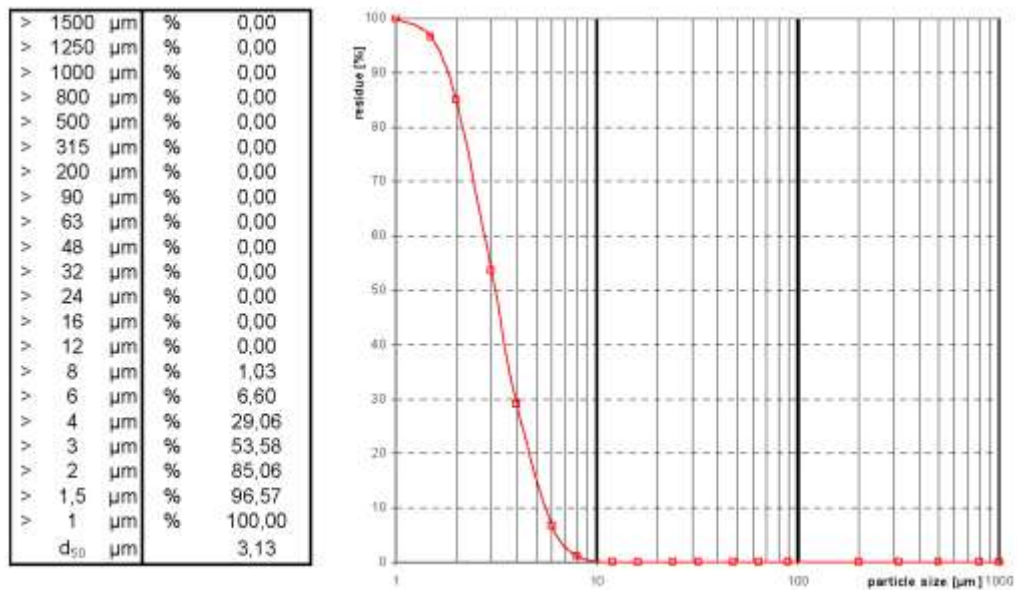


Abbildung 77. Korngrößenverteilung von Faujasit.

## Ettringit

Ettringit hat die Zusammensetzung  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ , entsprechend 45 % Kristallwasser, das in 5 Stufen von RT bis 285 °C abgegeben wird (Abbildung 78).

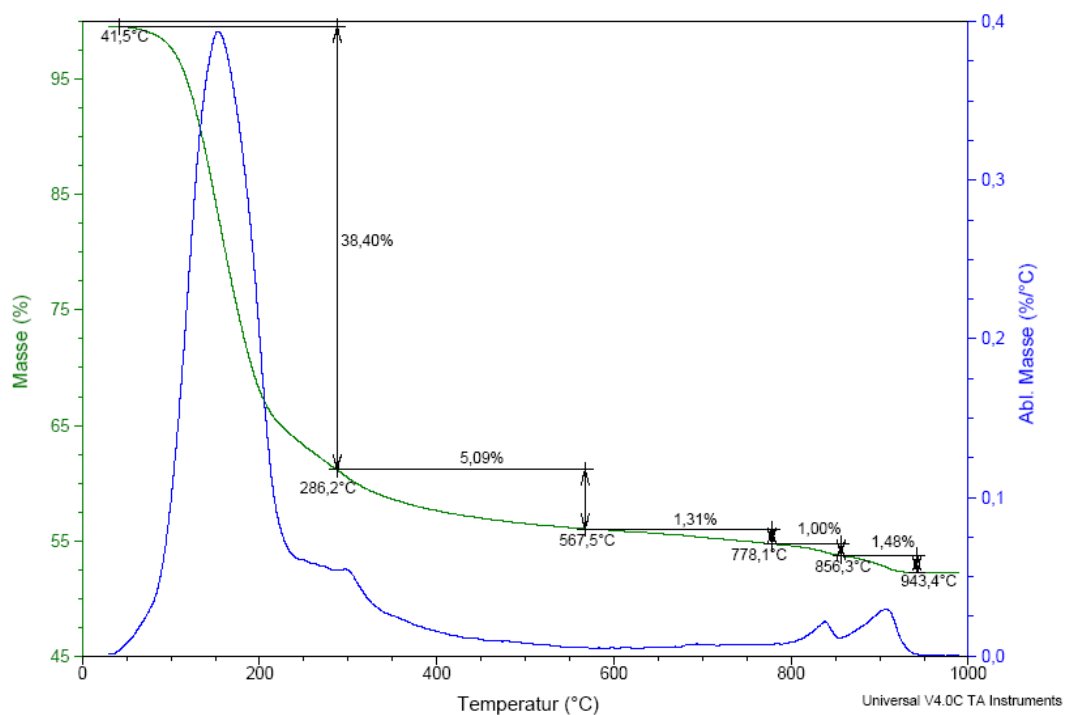


Abbildung 78. TGA-Untersuchung von Ettringit.

## Vermiculit

Das Mineral Vermiculit ist ein Schichtsilikat der mineralogischen Zusammensetzung [5]:

SiO <sub>2</sub>	43.0 - 45.5 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.5 - 11.5 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.0 - 8.5 %
CaO	0.5 - 2.5 %
MgO	24.5 - 27.0 %
K <sub>2</sub> O	4.0 - 6.0 %

Bei Temperaturbeanspruchung expandiert Vermiculit uniaxial und verliert gleichzeitig Kristallwasser:

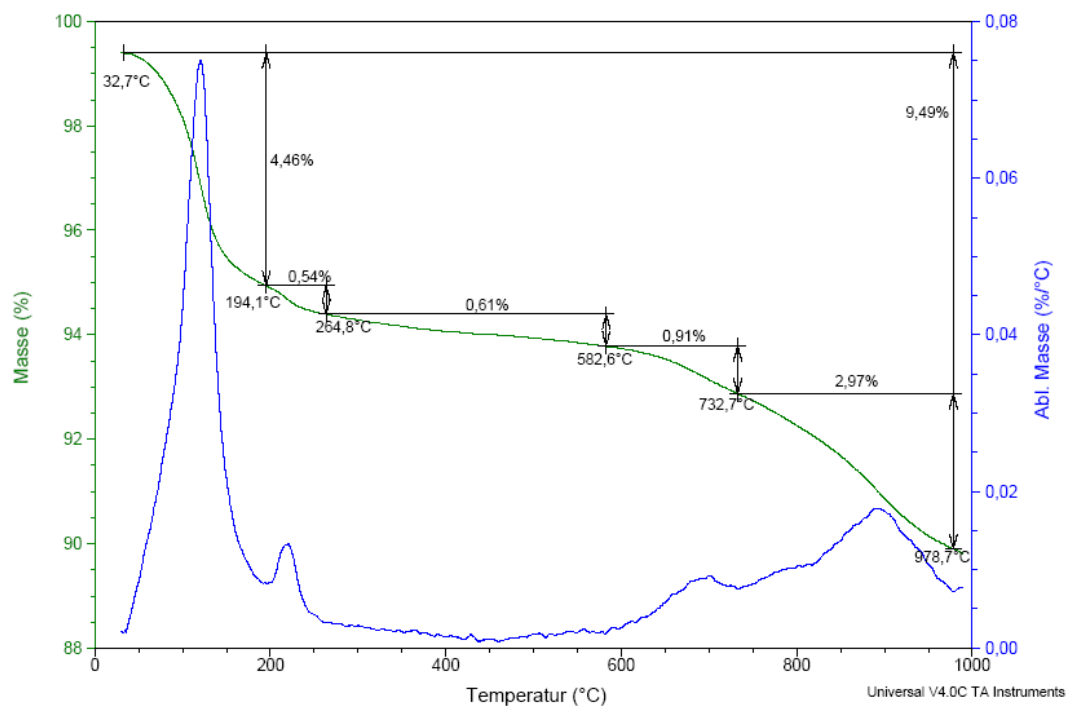


Abbildung 79. TGA-Untersuchung von unexpandiertem Vermiculit.



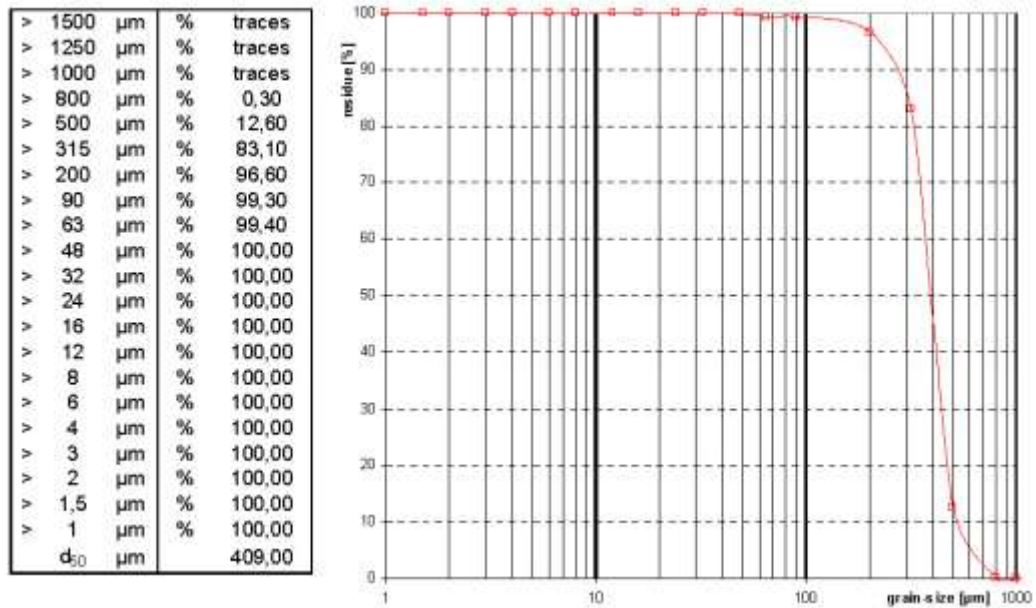


Abbildung 80. Kornaufbau von nicht-explandiertem Vermiculit.

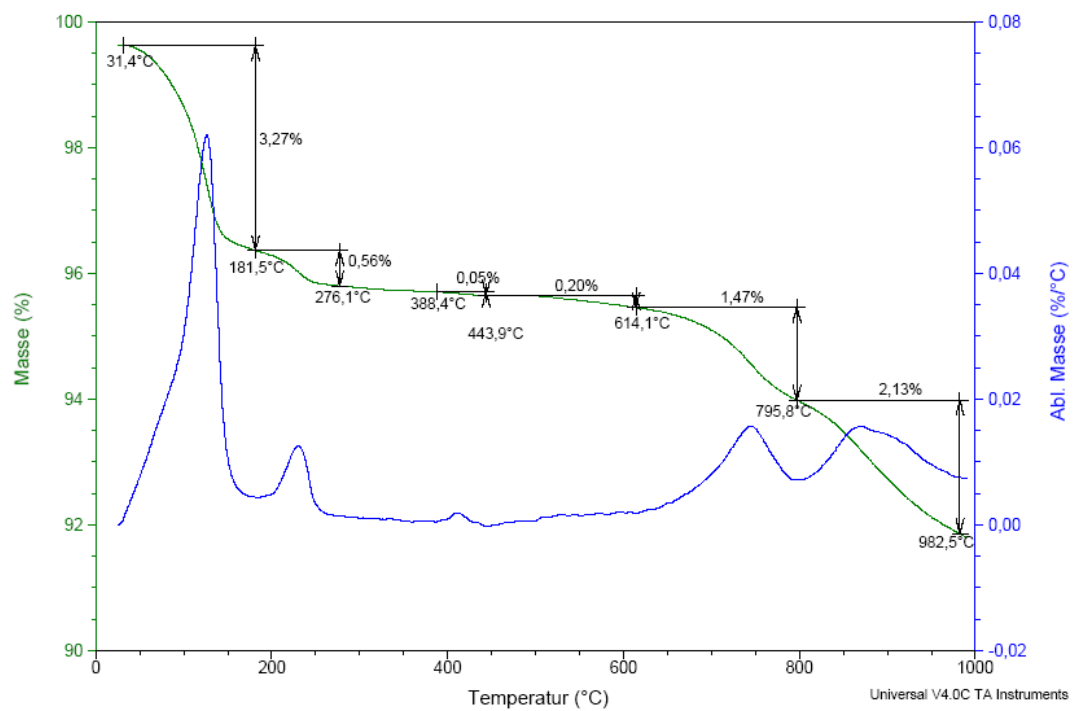


Abbildung 81. Gewichtsverlust der expandierten Vermiculite mit steigender Temperatur.

v	1500	µm	%	3,5
v	1250	µm	%	5,9
v	1000	µm	%	22,8
v	800	µm	%	53,8
v	500	µm	%	89,3
v	315	µm	%	98,3
v	200	µm	%	99,5
v	90	µm	%	99,9
v	63	µm	%	100,0
v	48	µm	%	100,0
v	32	µm	%	100,0
v	24	µm	%	100,0
v	16	µm	%	100,0
v	12	µm	%	100,0
v	8	µm	%	100,0
v	6	µm	%	100,0
v	4	µm	%	100,0
v	3	µm	%	100,0
v	2	µm	%	100,0
v	1,5	µm	%	100,0
v	1	µm	%	100,0
	d <sub>50</sub>	µm		823,0

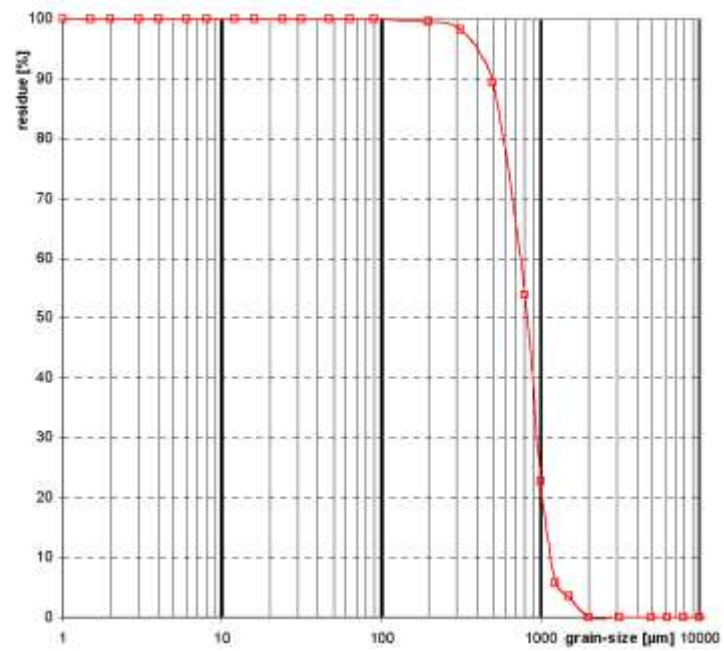


Abbildung 82. Korngrößenverteilung von expandiertem Vermiculit.

## Perlite

Perlite ist ein natürlich vorkommendes Alumosilikat vulkanischen Ursprungs der mineralogischen Zusammensetzung:

SiO <sub>2</sub>	74.0 ± 1.0 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.7 ± 0.2 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7 ± 0.2 %
MgO	0.2 ± 0.1 %
CaO	0.7 ± 0.3 %
Na <sub>2</sub> O	4.0 ± 0.5 %
K <sub>2</sub> O	4.5 ± 0.5 %

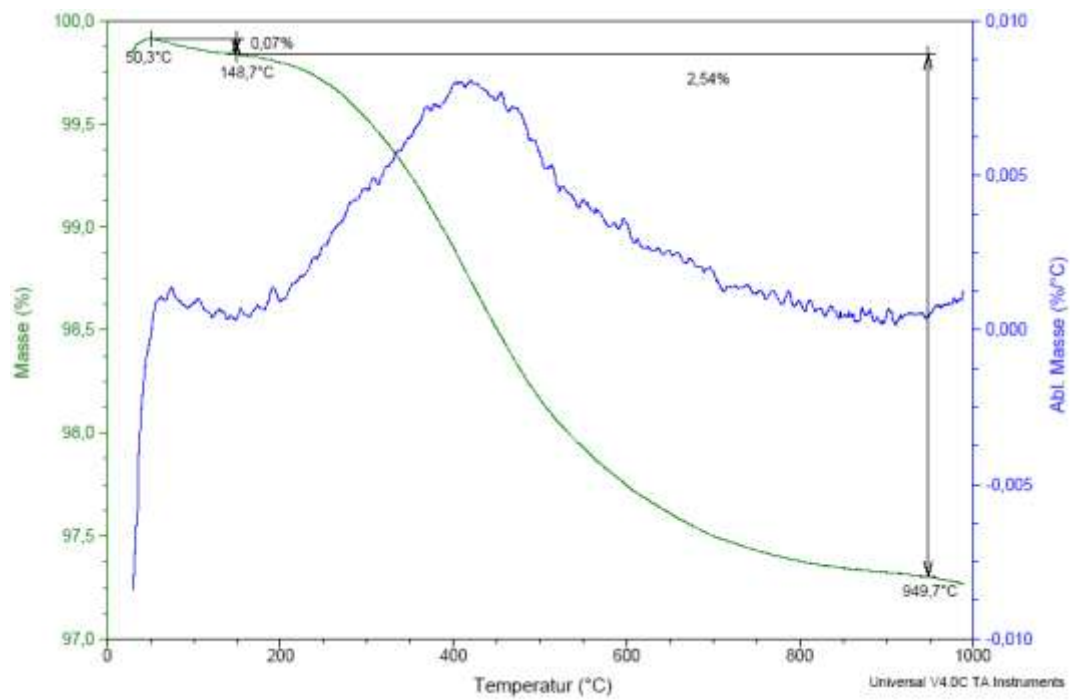


Abbildung 83. TGA-Untersuchung von nicht-expandierter Perlite.

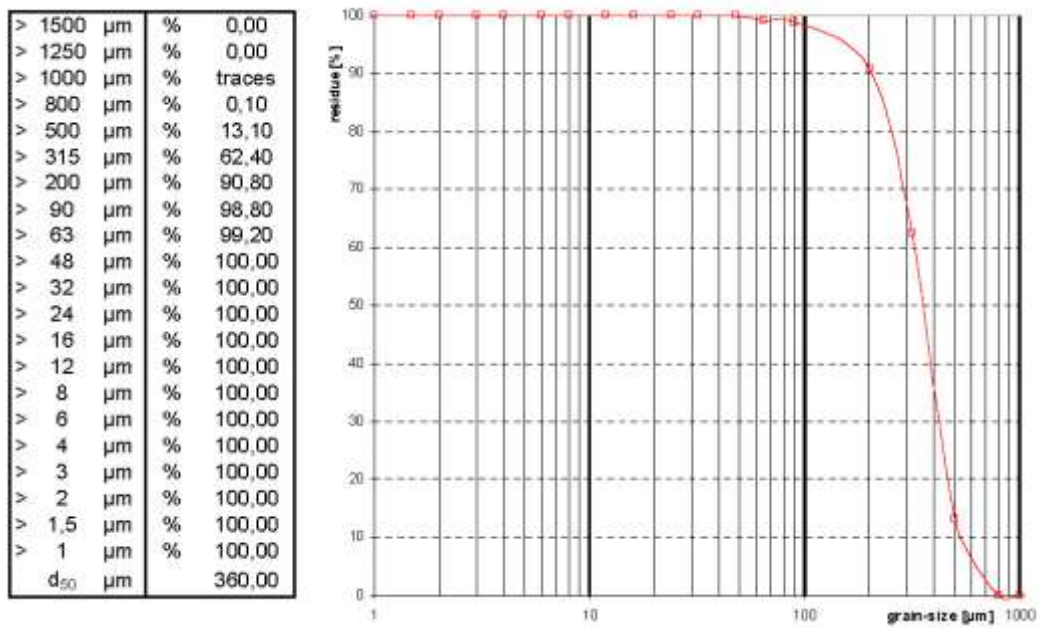


Abbildung 84. Korngrößenverteilung der nicht expandierten Perlite.

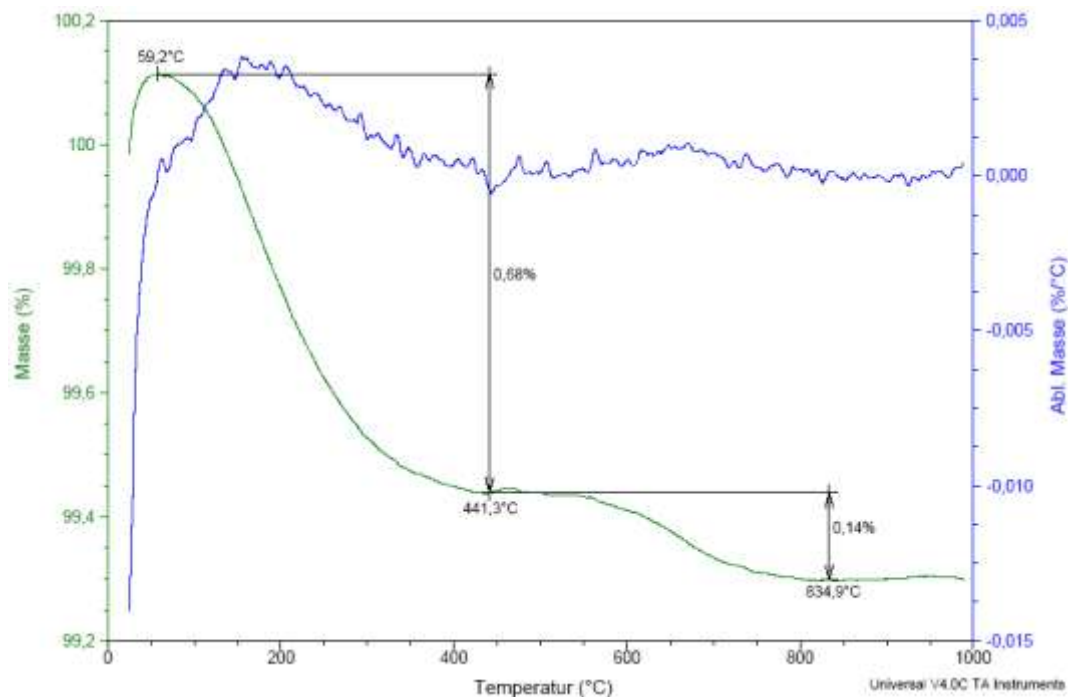


Abbildung 85. TGA-Untersuchung von geblähter Perlite.

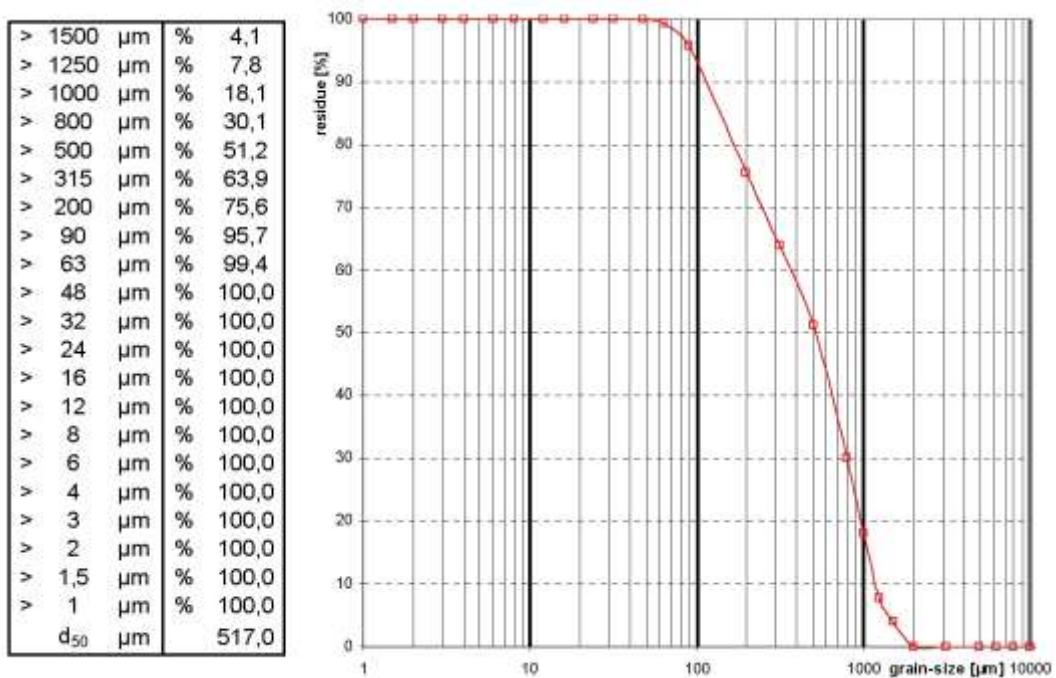


Abbildung 86. Korngrößenverteilung der expandierten Perlite.

## Wollastonit

Wollastonit ist Calciumsilikat,  $\text{CaSiO}_3$ , das in der Erdkruste ubiquitär vorhanden ist [5]. Bei Erwärmung auf  $1000^\circ\text{C}$  verliert Wollastonit 0,3 % seiner Masse was wahrscheinlich auf Grund der Zersetzung von  $\text{CaCO}_3$ , welches als Verunreinigung geringer Menge vorhanden ist.

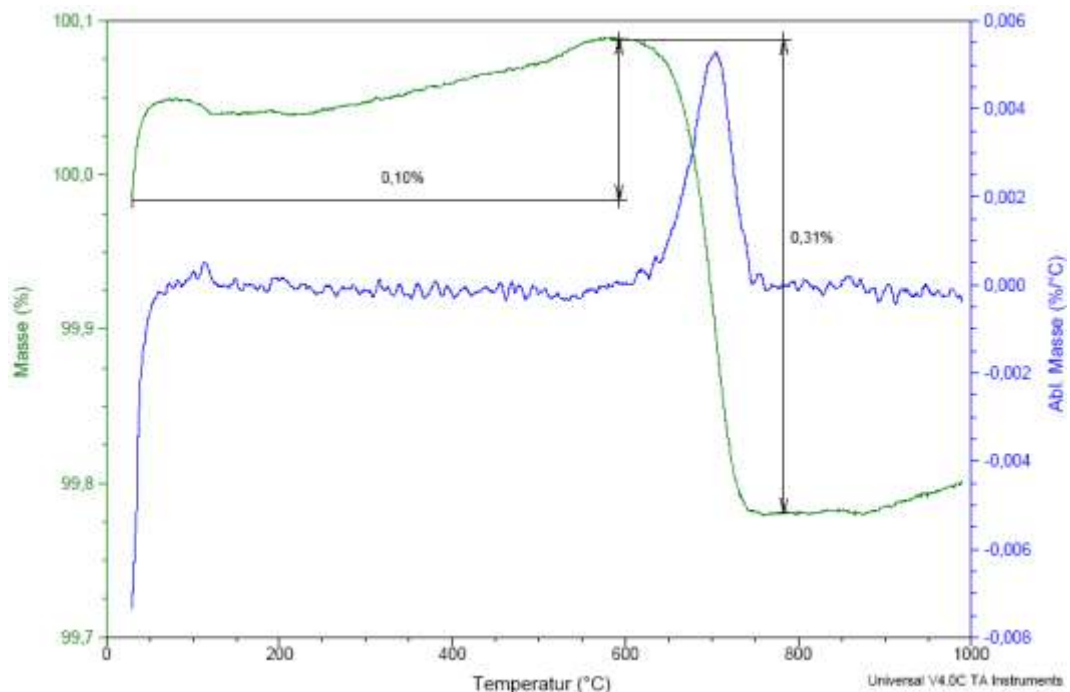


Abbildung 87. TGA-Untersuchung von Wollastonit.

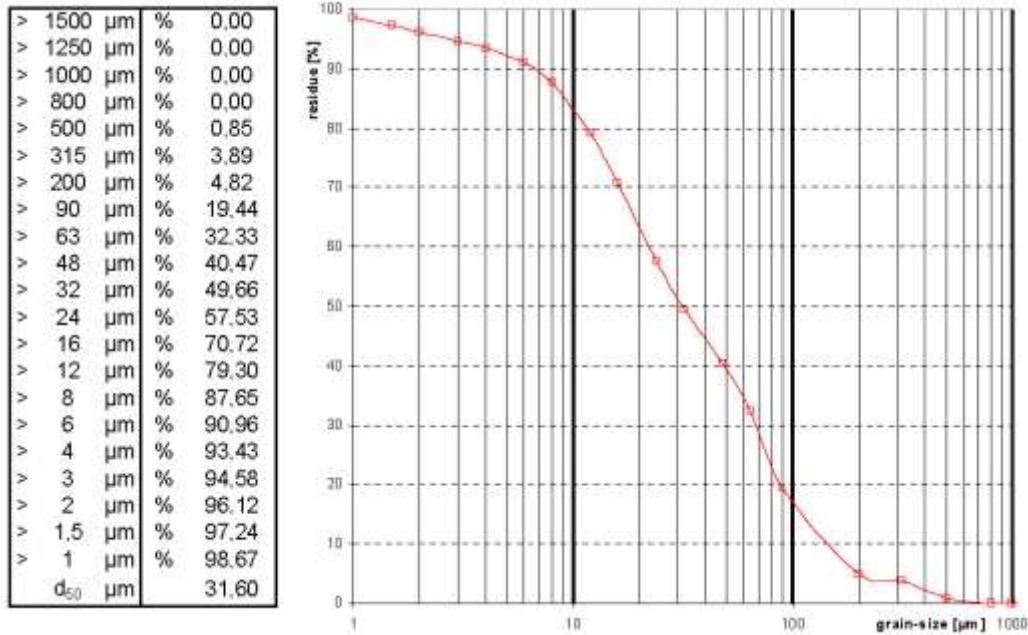


Abbildung 88. Korngrößenverteilung von Wollastonit.

## Kalkstein

Kalkstein,  $\text{CaCO}_3$ , wird im Temperaturbereich zwischen 630 °C und 955 °C in  $\text{CaO}$  und  $\text{CO}_2$  zersetzt.

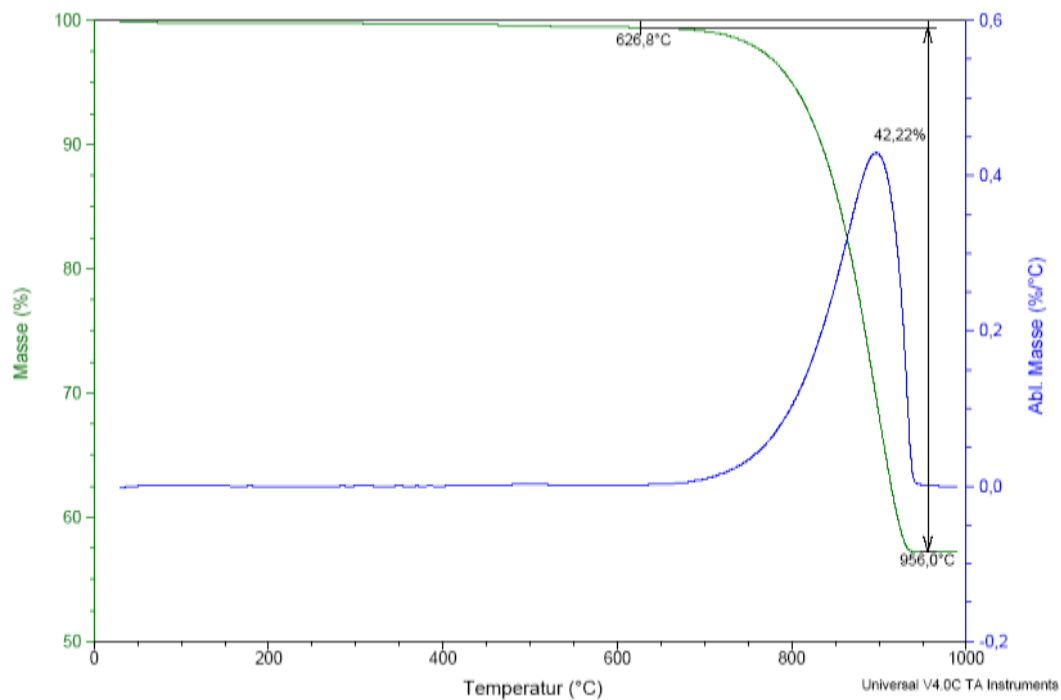


Abbildung 89. TGA-Untersuchung von Calciumcarbonat.

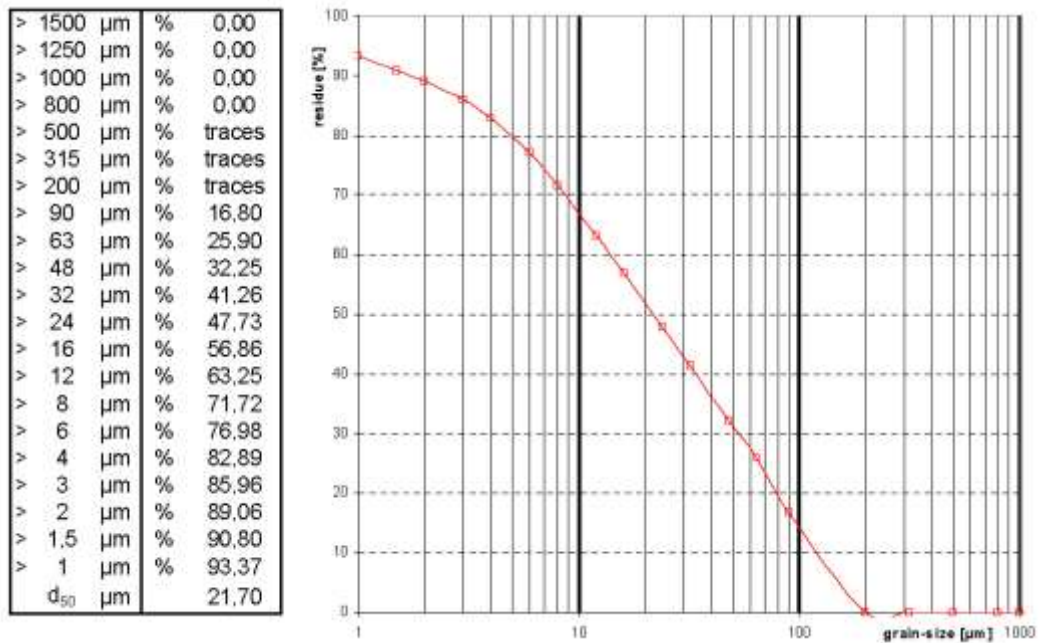


Abbildung 90. Korngrößenverteilung von Kalkstein.

## Quarz

Quarz,  $\text{SiO}_2$ , kommt in zahlreichen Modifikationen natürlich vor und zeigt im Temperaturbereich bis 1000 °C keinen Massenverlust. Der minimale Massenverlust ist auf die thermische Zersetzung von Verunreinigungen zurückzuführen.

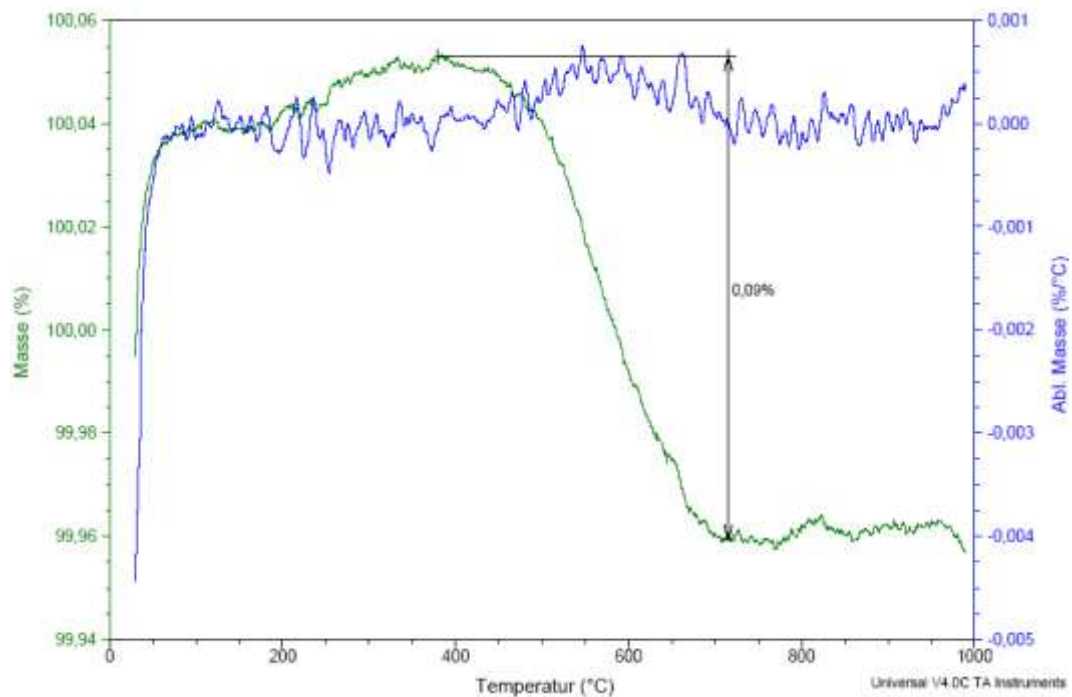


Abbildung 91. TGA-Untersuchung von Quarz.



>	1500	µm	%	0,00
>	1250	µm	%	0,00
>	1000	µm	%	traces
>	800	µm	%	0,30
>	500	µm	%	7,10
>	315	µm	%	55,70
>	200	µm	%	93,20
>	90	µm	%	99,80
>	63	µm	%	100,00
>	48	µm	%	100,00
>	32	µm	%	100,00
>	24	µm	%	100,00
>	16	µm	%	100,00
>	12	µm	%	100,00
>	8	µm	%	100,00
>	6	µm	%	100,00
>	4	µm	%	100,00
>	3	µm	%	100,00
>	2	µm	%	100,00
>	1,5	µm	%	100,00
>	1	µm	%	100,00
	d <sub>50</sub>	µm		333,00



Abbildung 92. Korngrößenverteilung des Quarzes

## Trass

Trass ist ein natürliches Puzzolan, das durch Gesteinsmetamorphose entstanden ist [5]. Die mineralogische Zusammensetzung ist:

SiO <sub>2</sub>	59.0 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.7 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.6 %
MgO	1.9 %
MnO	0.3 %
CaO	3.8 %
SO <sub>3</sub>	0.3 %
K <sub>2</sub> O	5.0 %
Na <sub>2</sub> O	3.9 %

Bei der Erwärmung bis zu 1000°C verliert Trass 6.2 % seiner Masse (Abbildung 94).



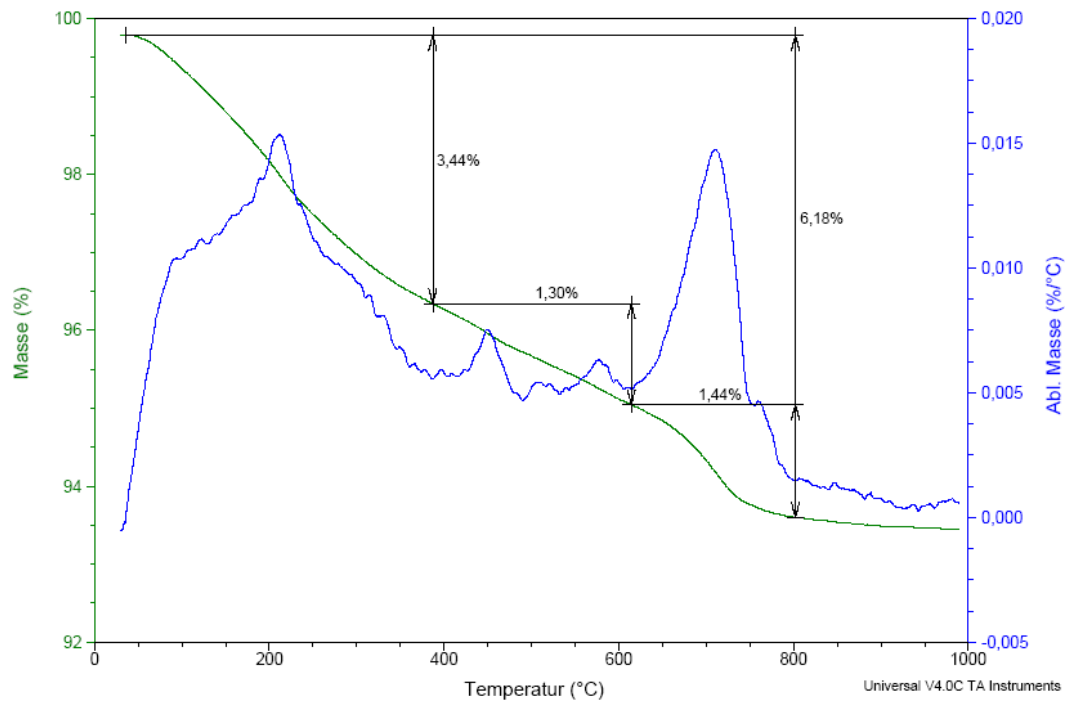


Abbildung 93. TGA-Untersuchung von Trass.

>	1500	µm	%	0,00
>	1250	µm	%	0,00
>	1000	µm	%	0,00
>	800	µm	%	0,00
>	500	µm	%	traces
>	315	µm	%	traces
>	200	µm	%	0,30
>	90	µm	%	4,30
>	63	µm	%	10,40
>	48	µm	%	18,85
>	32	µm	%	32,39
>	24	µm	%	41,90
>	16	µm	%	53,91
>	12	µm	%	61,22
>	8	µm	%	69,77
>	6	µm	%	74,77
>	4	µm	%	80,90
>	3	µm	%	84,92
>	2	µm	%	90,06
>	1,5	µm	%	93,02
>	1	µm	%	96,18
	d <sub>50</sub>	µm		18,40

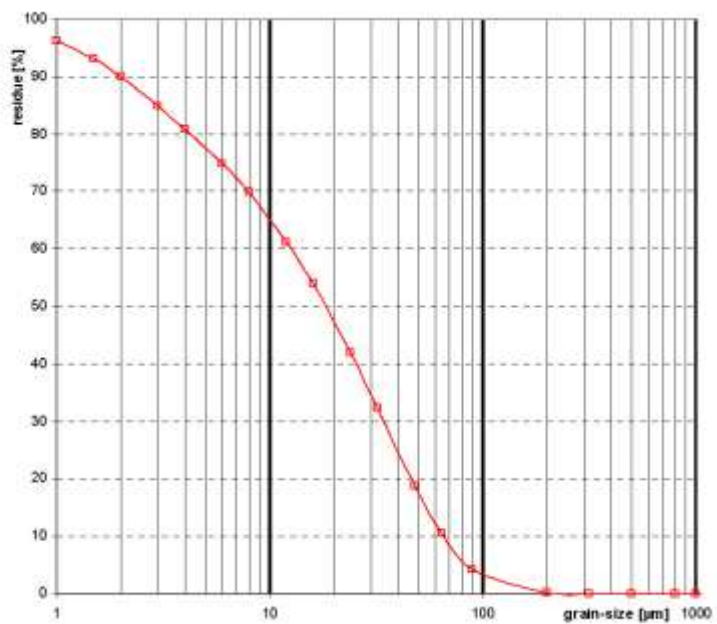


Abbildung 94. Korngrößenverteilung von Trass.

## Feldspäte, Kaolin, Tone

Feldspäte sind sehr weit verbreitete Tectosilikate, Kaolin ist ein eisenfreies und daher weißes Gestein, das als Hauptbestandteil Kaolinit, ein Verwitterungsprodukt des Feldspats, enthält [5]. Bei Erwärmung bis zu 1000°C verliert Feldspat 0.3 % seiner Masse (Abbildung 95).

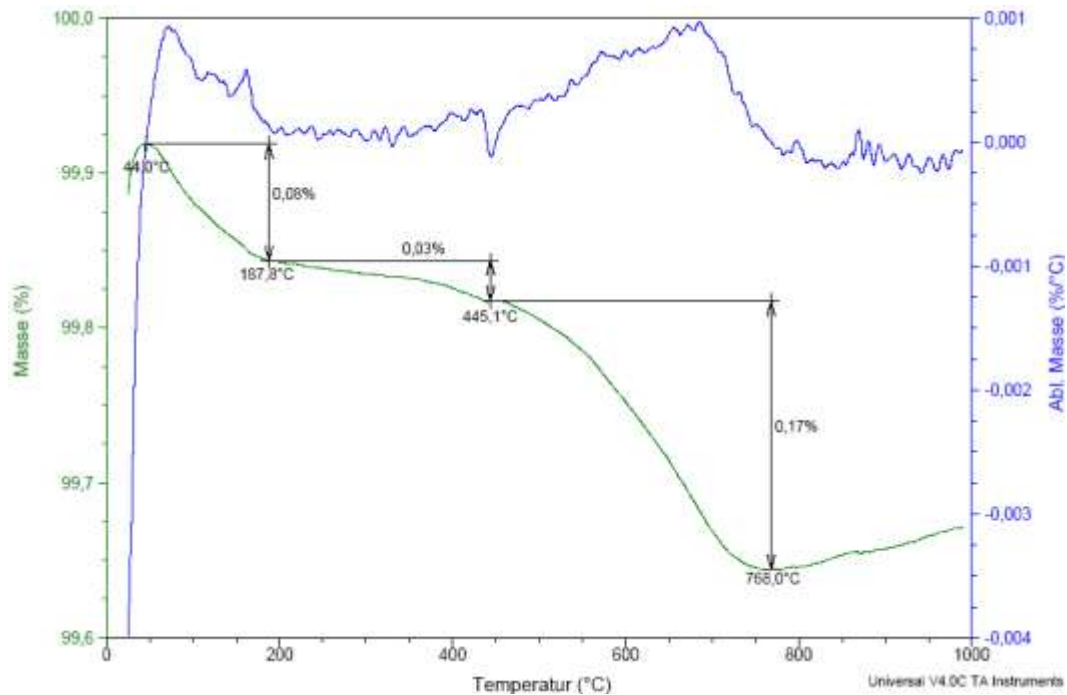


Abbildung 95. TGA-Untersuchung des Feldspatsandes in steigender Temperatur.

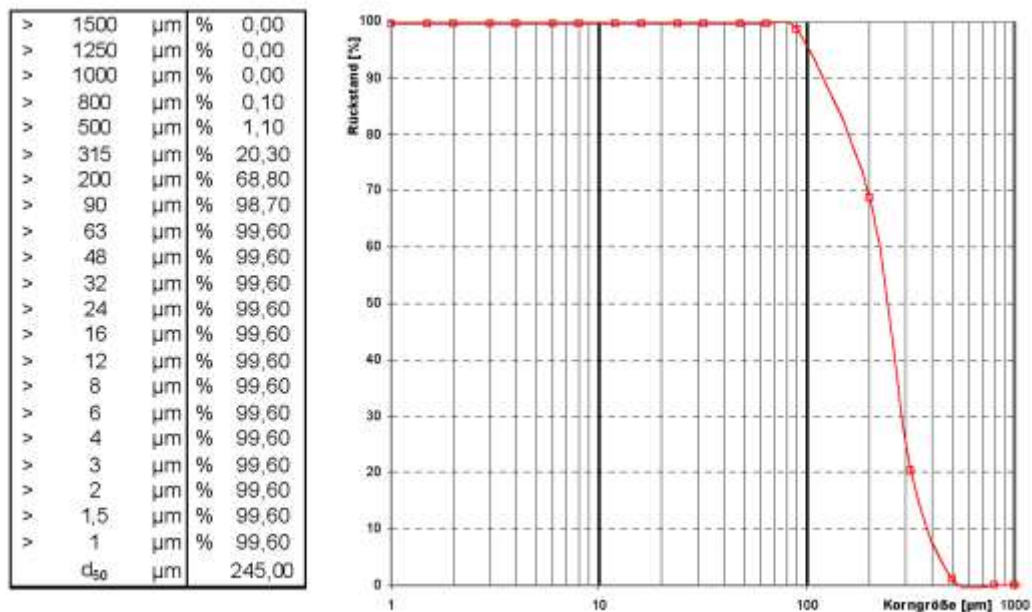


Abbildung 96. Korngrößenverteilung des Feldspatsandes.

Bei der Erwärmung bis zu 1000°C verliert Kaolin 12,5 % seiner Masse (Abbildung 97).

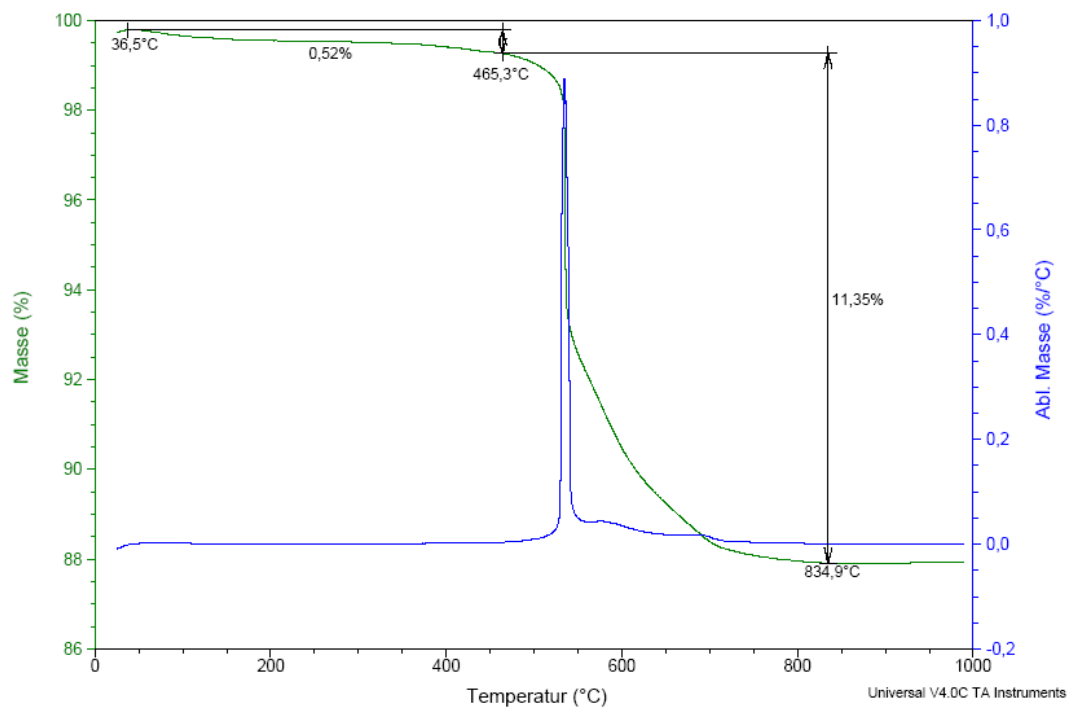


Abbildung 97. TGA-Untersuchung des Kaolins mit steigender Temperatur.

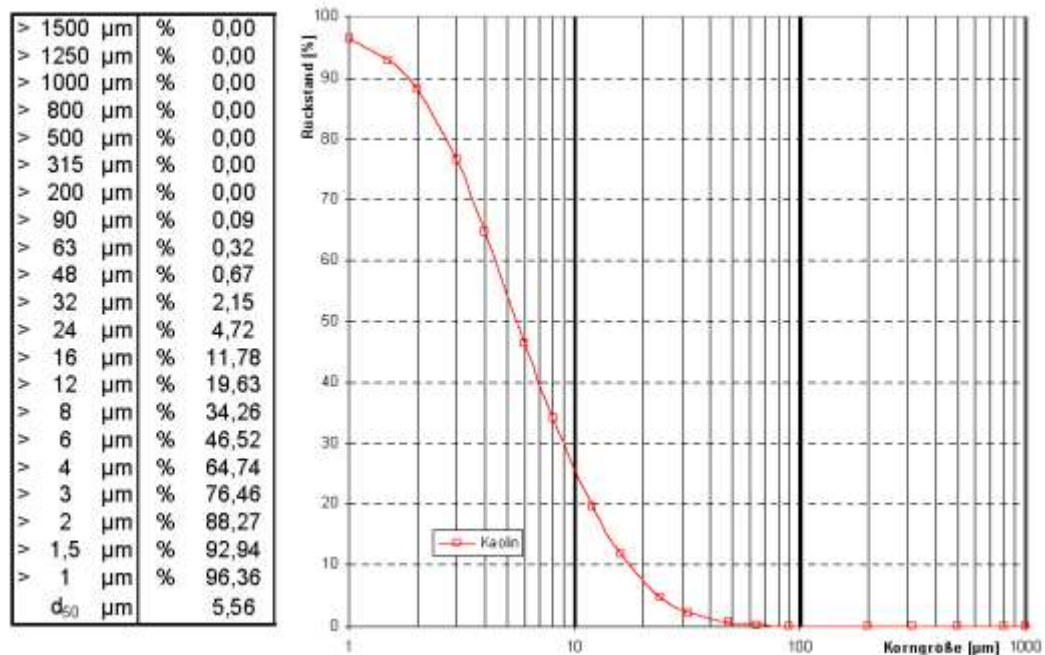
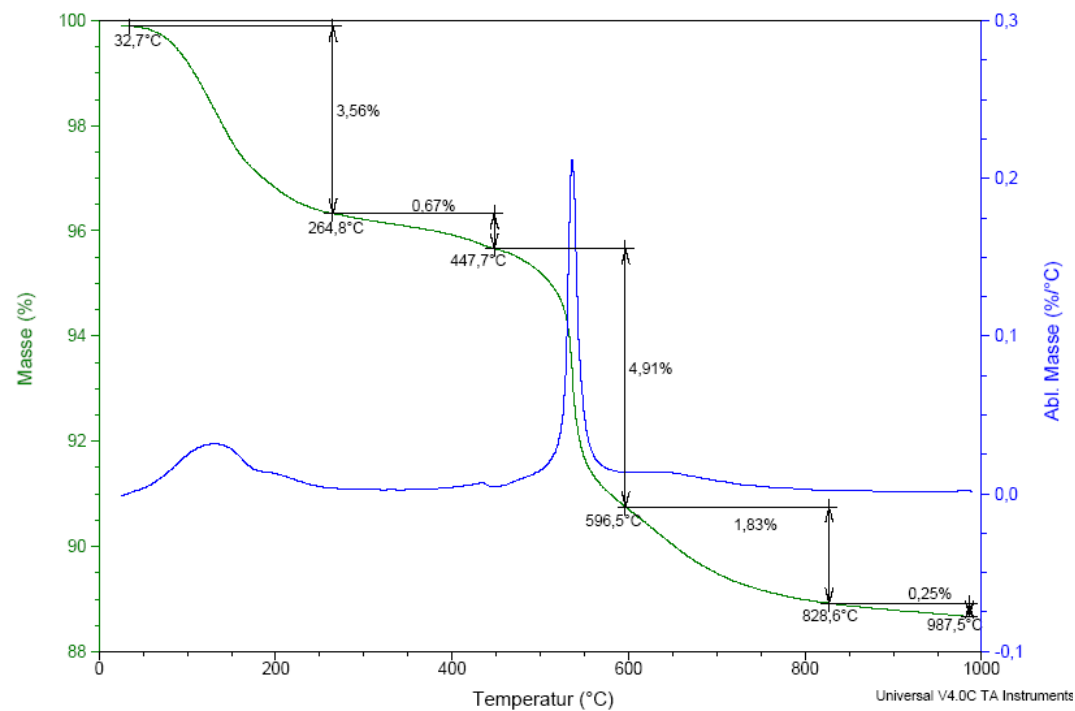
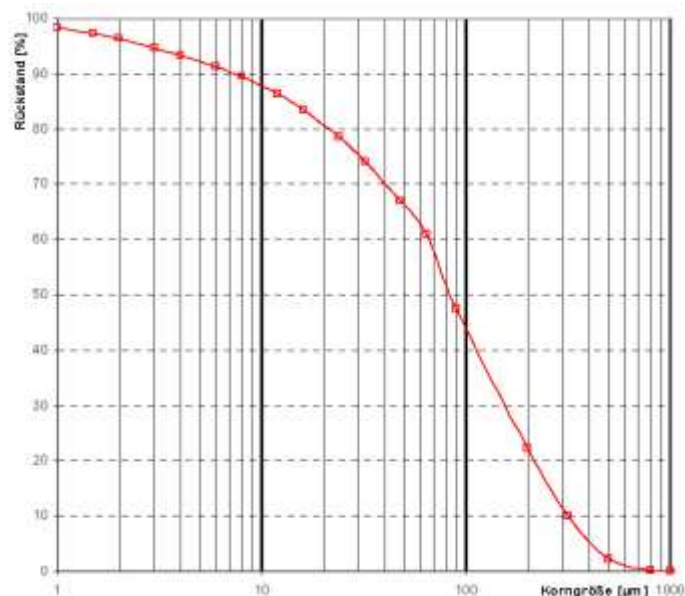


Abbildung 98. Korngrößenverteilung des untersuchten Kaolins.

Bei der Erwärmung bis zu 1000°C verliert Ton GFU 11 % seiner Masse (Abbildung 99).



>	1500	µm	%	0,00
>	1250	µm	%	0,00
>	1000	µm	%	0,10
>	800	µm	%	0,30
>	500	µm	%	2,20
>	315	µm	%	10,10
>	200	µm	%	22,40
>	90	µm	%	47,50
>	63	µm	%	60,90
>	48	µm	%	66,93
>	32	µm	%	74,21
>	24	µm	%	78,52
>	16	µm	%	83,48
>	12	µm	%	86,30
>	8	µm	%	89,43
>	6	µm	%	91,21
>	4	µm	%	93,36
>	3	µm	%	94,75
>	2	µm	%	96,46
>	1,5	µm	%	97,42
>	1	µm	%	98,43
>	d <sub>50</sub>	µm		85,50



## Anhydritmehl und -körnung

Anhydrit ist ein häufig vorkommendes Mineral aus der Mineralklasse der wasserfreien Sulfate. Es kristallisiert mit der chemischen Formel  $\text{CaSO}_4$  und entwickelt meist grobkörnige, massige Aggregate, manchmal aber auch prismatische Kristalle. Die Anhydrit-Kristalle lassen sich an drei im rechten Winkel zueinander stehenden Flächen gut spalten und lassen sich dadurch von dem ansonsten äußerlich sehr ähnlichen Gips unterscheiden, in den Anhydrit durch Wassereinlagerung übergeht [5]. Bei der Erwärmung bis zu  $1000^\circ\text{C}$  verliert Anhydritmehl 17,5 % seines Ausgangsgewichts (Abbildung 101).

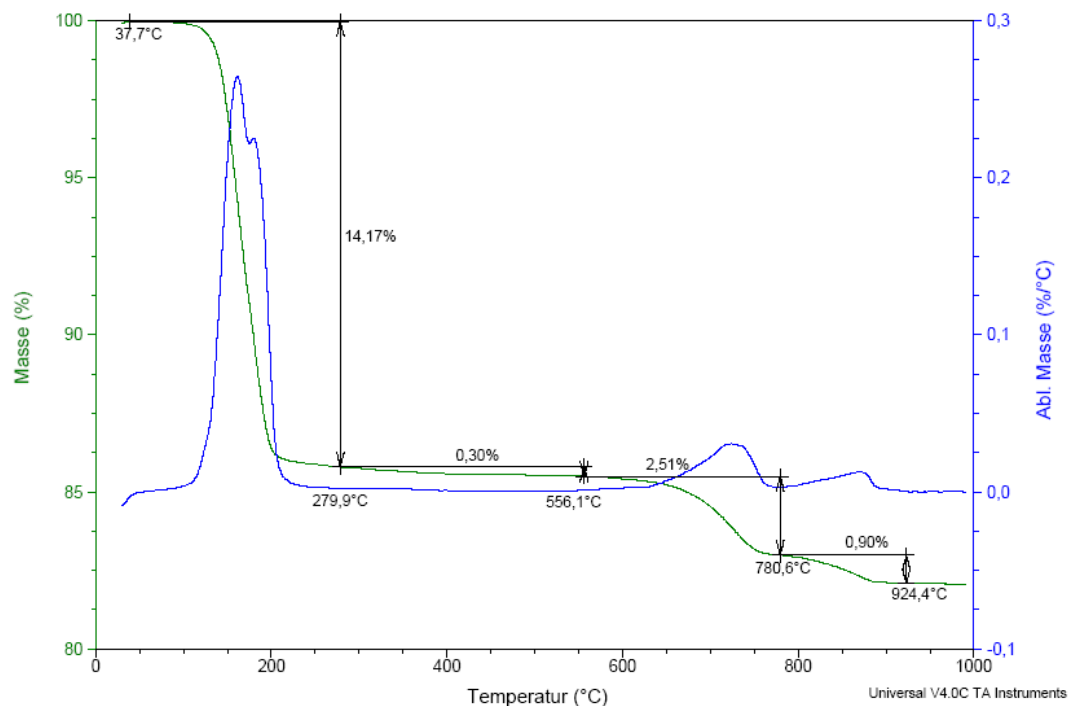


Abbildung 101. TGA-Untersuchung der Anhydritmehl mit steigender Temperatur.

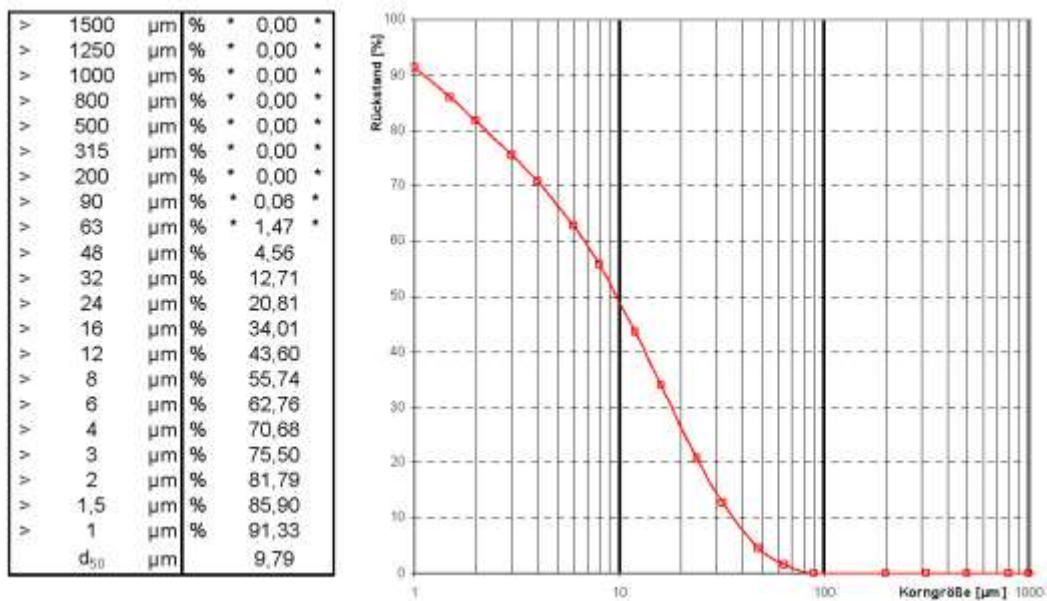


Abbildung 102. Korngrößenverteilung der Anhydritmehl.

Bei der Erwärmung bis zu 1000°C verliert Anhydritkörnung 16 % seiner Ausgangsmasse (Abbildung 103).

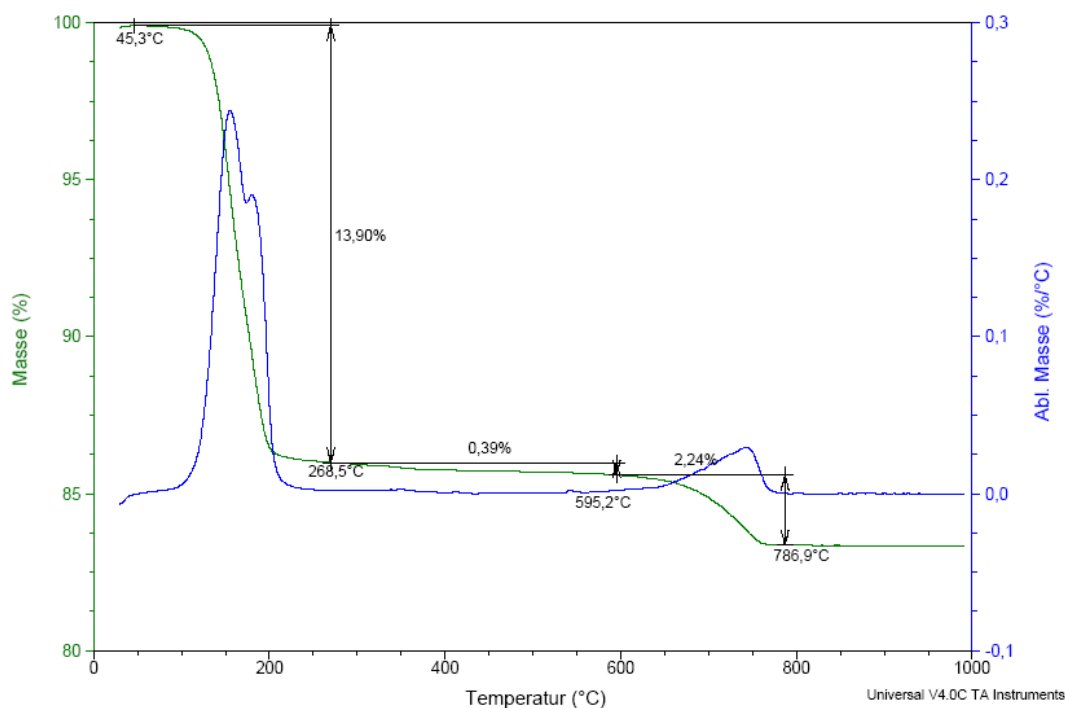


Abbildung 103. TGA-Untersuchung der Anhydritkörnung mit steigender Temperatur.

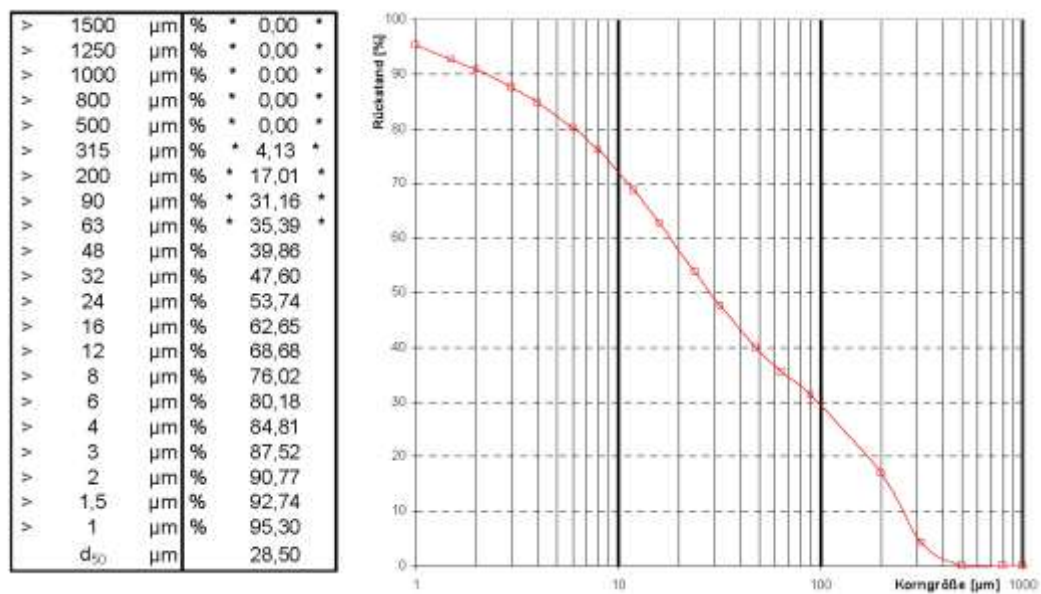


Abbildung 104. Korngrößenverteilung der Anhydritkörnung.

### Phonolithmehl

Phonolith ist ein vulkanisches Gestein von grünlicher bis grauer Farbe [5]. Die chemische Zusammensetzung des Phonolithes ist wie folgt [24]:

SiO <sub>2</sub>	48.2 – 50.6 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.4 – 18.6 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.9 – 4.3 %
CaO	6.7 – 8.5 %
MgO	0.3 – 1.7 %
Na <sub>2</sub> O	5.5 – 8.2 %
K <sub>2</sub> O	4.1 – 4.8 %
H <sub>2</sub> O	4.0 – 4.8 %
CO <sub>2</sub>	0.2 – 3.8 %

Bei der Erwärmung bis zu 1000°C verliert Phonolithmehl 7 % seiner Masse.

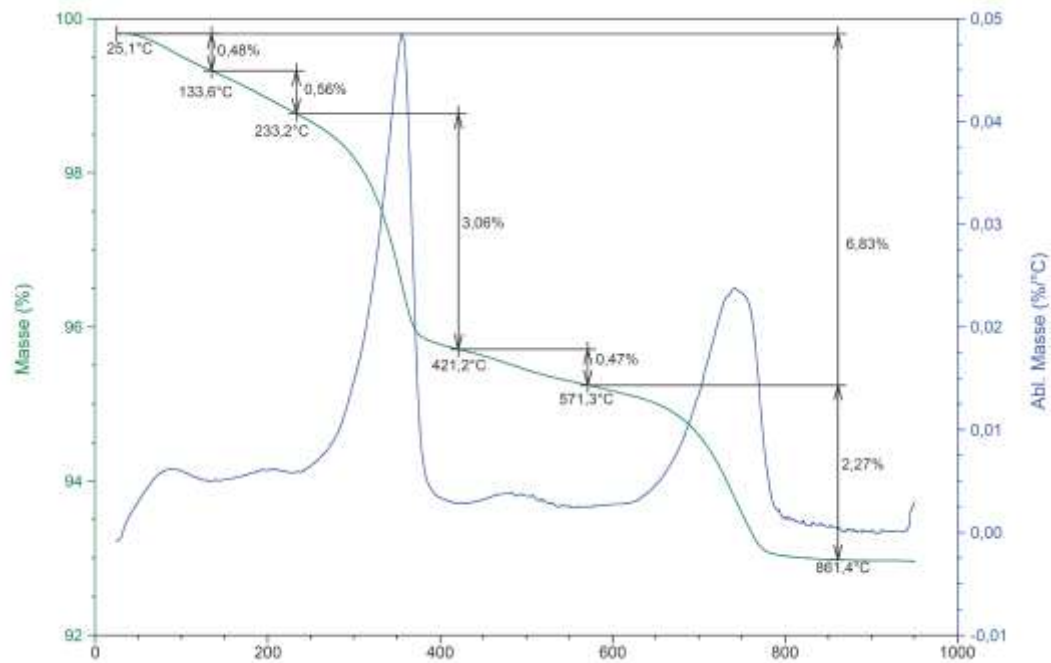


Abbildung 105. TGA-Untersuchung des Phonolithmehls.

>	1500	µm	%	0,00
>	1250	µm	%	0,00
>	1000	µm	%	0,00
>	800	µm	%	0,00
>	500	µm	%	Spuren
>	315	µm	%	Spuren
>	200	µm	%	0,20
>	90	µm	%	12,30
>	63	µm	%	26,20
>	48	µm	%	34,80
>	32	µm	%	45,75
>	24	µm	%	52,97
>	16	µm	%	62,35
>	12	µm	%	68,20
>	8	µm	%	75,04
>	6	µm	%	79,02
>	4	µm	%	84,00
>	3	µm	%	87,31
>	2	µm	%	91,62
>	1,5	µm	%	94,13
>	1	µm	%	96,83
>	d <sub>50</sub>	µm		27,10

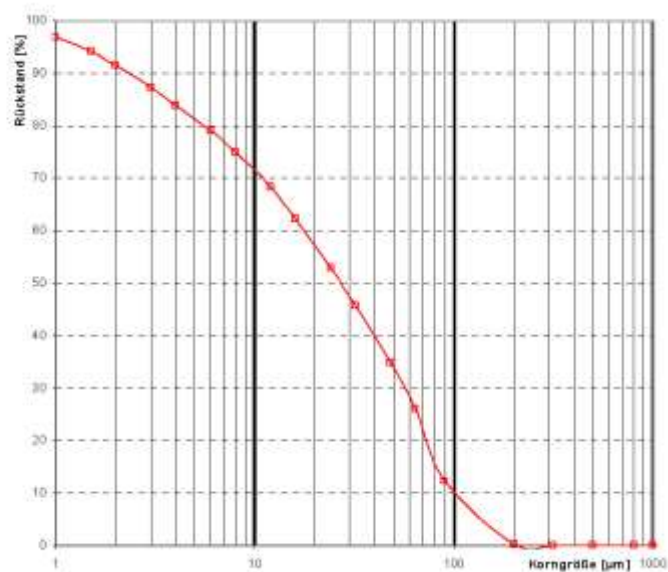


Abbildung 106. Korngrößenverteilung des im Rahmen der Dissertation untersuchten Phonolithmehls.



## A V. Ergänzung zu Abschnitt 6

### Die natürlichen Zeolithe

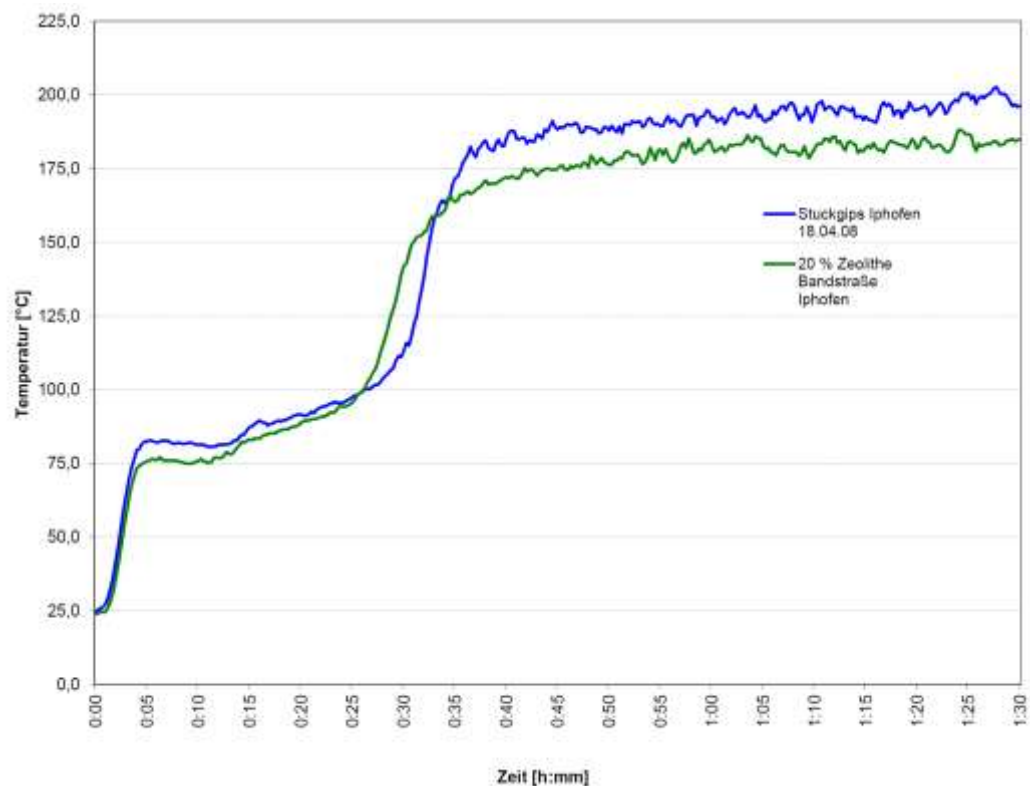


Abbildung 107. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von 20 % natürlicher Zeolithe.

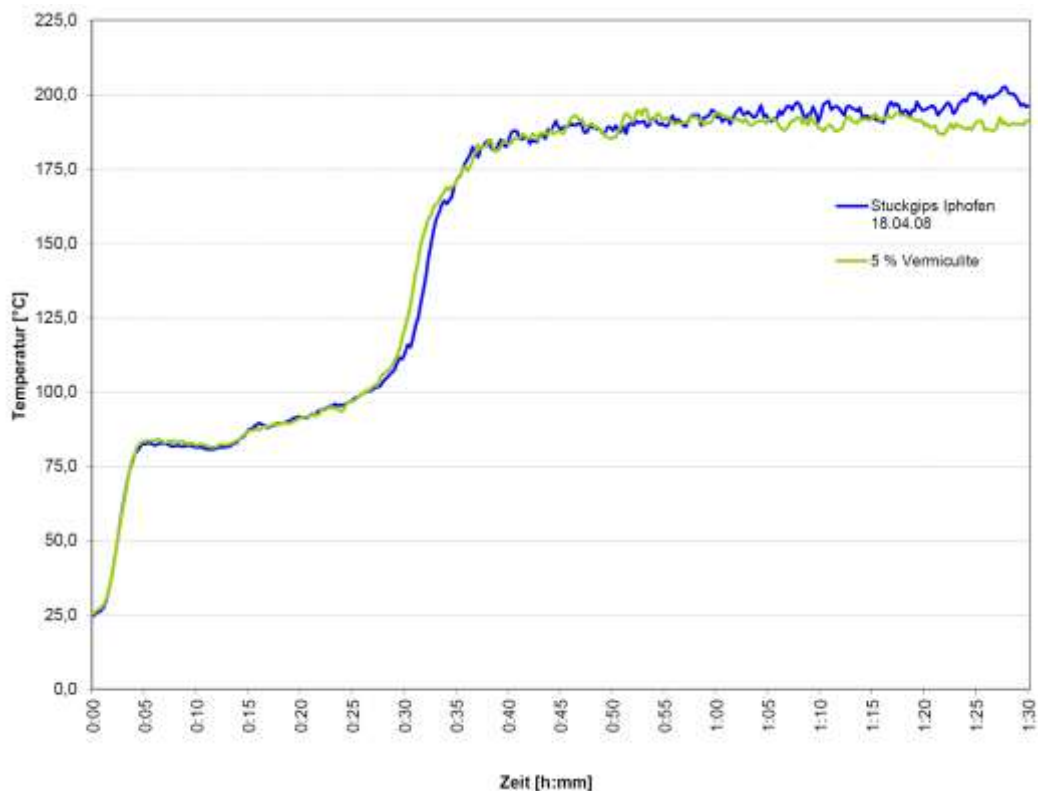
Tabelle 28 . Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne natürlicher Zeolithe.

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	20 % Zeolithe Bandstraße Iphofen	Stuckgips Iphofen 18.04.08	20 % Zeolithe Bandstraße Iphofen
WFW		0,61	0,63		
Anrührzeiten	s	15 s Einstreuen - 15 s Sumpfen - 30 s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,0	150,0	147,0	147,0
Dicke		20,3	20,1	19,3	19,4
Schüsselung		keine		> 1,00	>1,00
Gewicht	g	719,3	667,9	575,8	548,6
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1102,1	1025,1	971,6
Gewichtsverlust	g			143,5	119,3
Schrumpfung längs	%			19,9	17,9
Schrumpfung quer				1,5	1,5
				2,0	2,0

**Tabelle 29. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne natürlicher Zeolithe.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	20 % Zeolithe, Bandstraße	Stuckgips Iphofen 18.04.08	20 % Zeolithe, Bandstraße
WFW		0,61	0,63		
Länge	mm	160,5	160,5	145,0	149,5
Breite		40,0	40,0	33,5	37,0
Höhe		40,2	40,2	33,5	37,5
Gewicht	g	305,5	287,2	239,6	230,4
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1112,8	1472,1	1110,8
Gewichtsverlust	g			66,0	56,8
	%			21,6	19,8
Schrumpfung Länge				9,7	6,9
Schrumpfung Breite				16,3	7,5
Schrumpfung Höhe				16,7	6,7

#### Baustoffe mit Vermiculiten



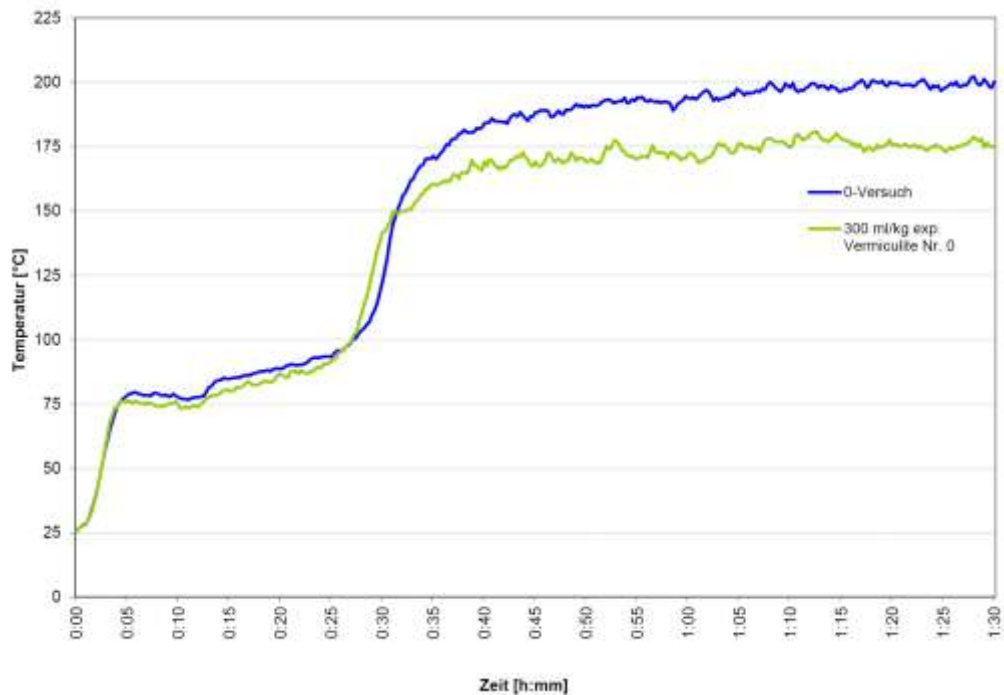
**Abbildung 108. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von nicht expandierten Vermiculiten.**

**Tabelle 30. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne nicht expandierten Vermiculiten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Vermiculite	Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Vermiculite
WFW		0,61	0,59		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	199,5
Breite		150,0	150,0	147,0	149,5
Dicke		20,3	20,2	19,3	19,6
Schüsselung		keine		> 1,00	0,8
Gewicht	g	719,3	731,0	575,8	590,1
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1200,3	1025,1	1009,5
Gewichtsverlust	g			143,5	140,9
	%			19,9	19,3
Schrumpfung längs				1,5	0,7
Schrumpfung quer				2,0	0,3

**Tabelle 31. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne nicht expandierten Vermiculiten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Vermiculite	Stuckgips Iphofen 18.04.08	5 % Vermiculite
WFW		0,61	0,59		
Länge	mm	160,5	160,3	145,0	nicht fest- stellbar, da Prismen gesprengt
Breite		40,0	40,0	33,5	
Höhe		40,2	40,2	33,5	
Gewicht	g	305,5	312,6	239,6	
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1212,6	1472,1	
Gewichtsverlust	g			66,0	
				21,6	
Schrumpfung Länge	%			9,7	
Schrumpfung Breite				16,3	
Schrumpfung Höhe				16,7	



**Abbildung 109. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von expandierten Vermiculiten.**

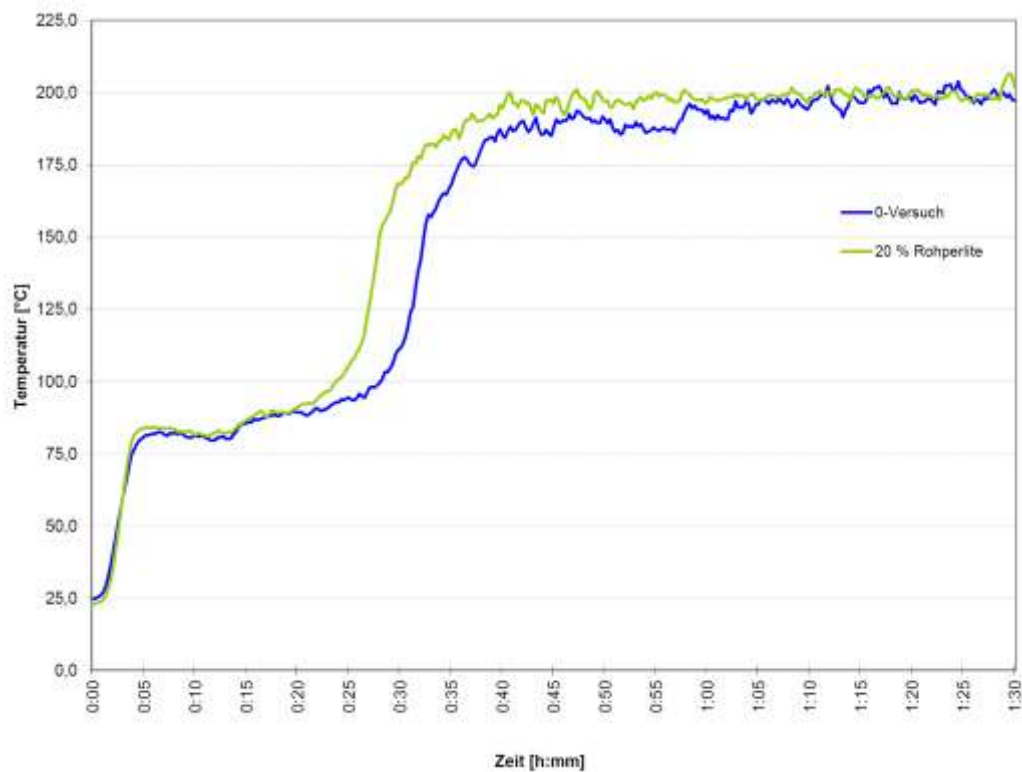
**Tabelle 32. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne expandierten Vermiculiten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips Iphofen 16.06.08	300 ml/kg Vermiculite Nr. 0	Stuckgips Iphofen 16.06.08	300 ml/kg Vermiculite Nr. 0
WFW		0,62	0,69		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke		20,2	20,3	19,2	19,5
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	627,2	570,9	510,5
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1024,8	1018,0	896,5
Gewichtsverlust	g			140,1	116,7
	%			19,7	18,6
Schrumpfung längs				1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	1,7

**Tabelle 33. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne expandierten Vermiculiten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 16.06.08	300 ml/kg Vermiculite Nr. 0	Stuckgips Iphofen 16.06.08	300 ml/kg Vermiculite Nr. 0
WFW		0,62	0,69		
Länge	mm	160,2	160,3	145,0	143,0
Breite		40,0	40,0	33,0	34,0
Höhe		40,5	40,3	33,0	33,5
Gewicht	g	301,7	265,7	236,1	208,6
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1028,3	1495,1	1280,7
Gewichtsverlust	g			65,6	57,1
				21,7	21,5
Schrumpfung Länge	%			9,5	10,8
Schrumpfung Breite				17,5	15,0
Schrumpfung Höhe				18,5	16,9

### Baustoffe mit Rohperliten



**Abbildung 110. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Rohperliten.**

**Tabelle 34. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Rohperliten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 25.03.08	20 % Roh- perlite	Stuckgips lphofen 25.03.08	20 % Roh- perlite
WGW		0,60	0,60		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201	201	198	198,5
Breite		150	150	147,5	148
Dicke		20,1	20,4	19,20	19,80
Schüsselung		keine		> 1,00	>1,00
Gewicht	g	728,81	809,89	588,78	675,1
Raumgewicht	kg/m³	1202,6	1316,8	1050,0	1160,6
Gewichtsverlust	g			140,03	134,79
	%			19,2	16,6
Schrumpfung längs				1,49	1,24
Schrumpfung quer				1,67	1,33

**Tabelle 35. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Rohperliten.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips lphofen 25.03.08	20 % Roh- perlite	Stuckgips lphofen 25.03.08	20 % Roh- perlite
WFW		0,60	0,60		
Länge	mm	160,5	160,5	151,0	158,0
Breite		40,0	40,0	34,5	39,0
Höhe		40,2	40,2	34,0	39,0
Gewicht	g	311,9	343,5	243,8	280,5
Raumgewicht	kg/m³	1208,4	1330,8	1376,3	1167,3
Gewichtsverlust	g			68,1	62,9
	%			21,8	18,3
Schrumpfung Länge				5,9	1,6
Schrumpfung Breite				13,8	2,5
Schrumpfung Höhe				15,4	3,0

## Baustoffe mit Kalksteinzusatz

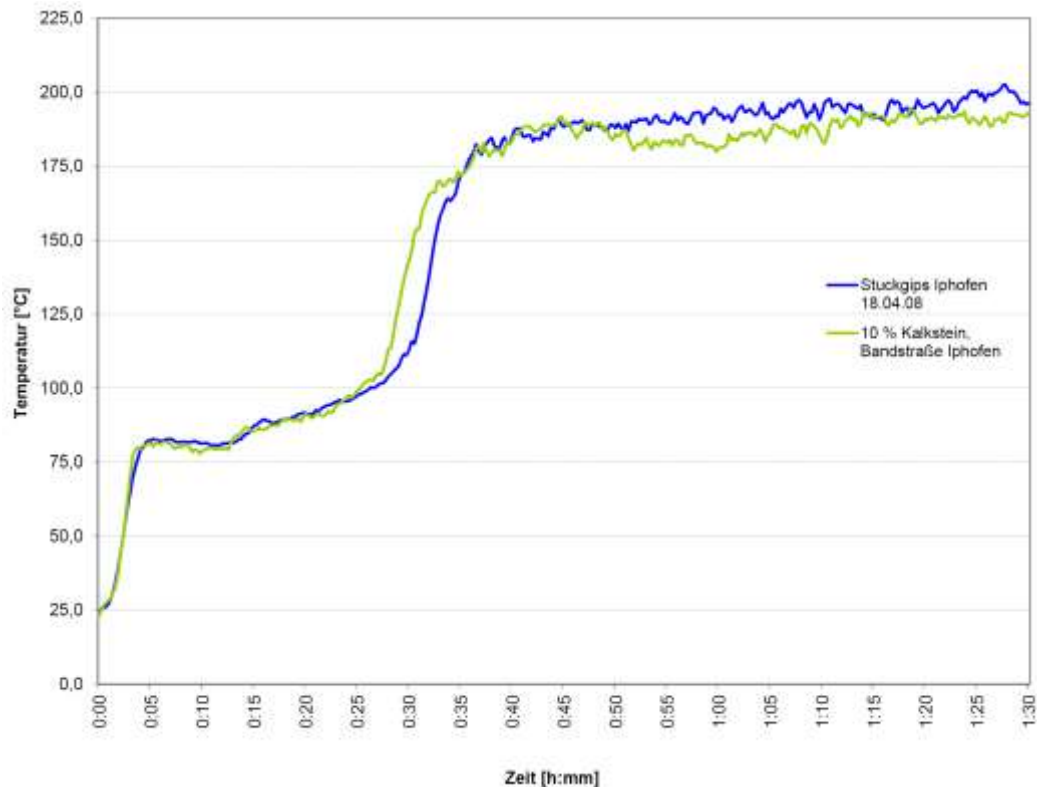


Abbildung 111. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Kalkstein.

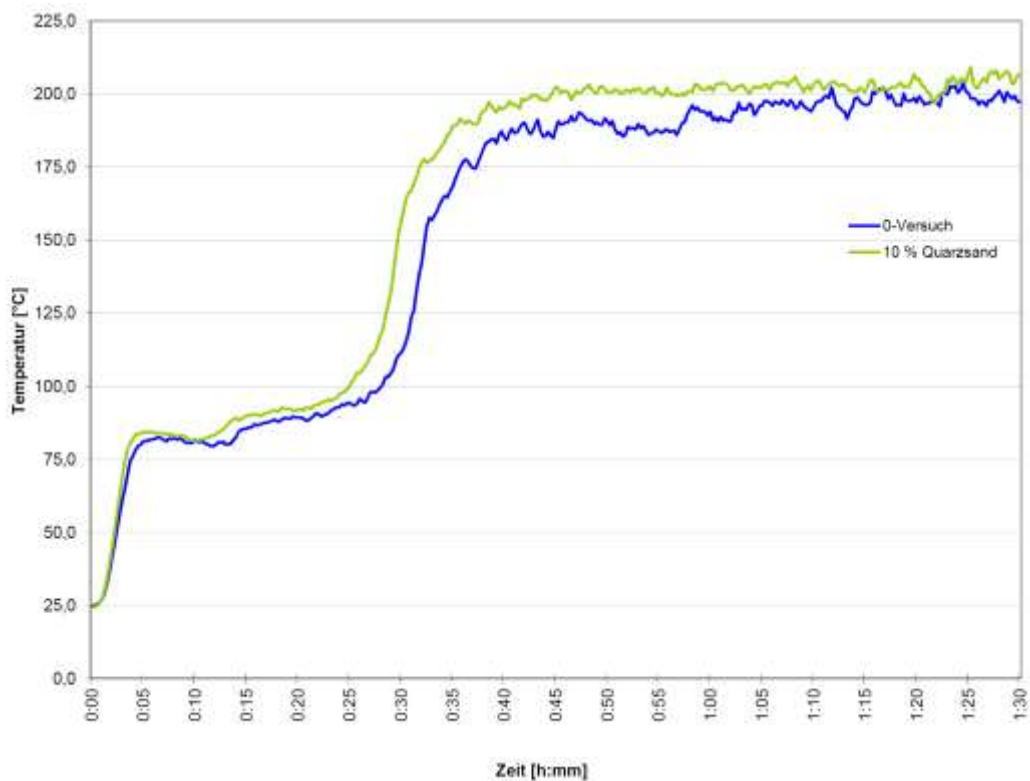
Tabelle 36. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Kalkstein.

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Kalkstein Bandstraße lphofen	Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Kalkstein Bandstraße lphofen
WFW		0,61	0,59		
Anrührzeiten	s	15 s Einstreuen - 15 s Sumpfen - 30 s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201	201	198	198,5
Breite		150	150	147	147
Dicke		20,3	20,3	19,30	19,40
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	719,3	725,1	575,8	585,4
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1184,8	1025,1	1034,1
Gewichtsverlust	g			143,5	139,7
Schrumpfung längs	%			19,9	19,3
Schrumpfung quer				1,5	1,2
				2,0	2,0

**Tabelle 37. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Kalkstein.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Kalk- stein	Stuckgips Iphofen 18.04.08	10 % Kalk- stein
WFW		0,61	0,62		
Länge	mm	160,5	160,5	145,0	146,0
Breite		40,0	40,0	33,5	33,0
Höhe		40,2	40,3	33,5	34,0
Gewicht	g	305,5	307,4	239,6	235,4
Raumgewicht	kg/m³	1183,8	1188,3	1472,1	1437,3
Gewichtsverlust	g			66,0	72,0
				21,6	23,4
Schrumpfung Länge	%			9,7	9,0
Schrumpfung Breite				16,3	17,5
Schrumpfung Höhe	%			16,7	15,6

#### Baustoffe mit Quarzzusatz



**Abbildung 112. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Quarz.**



**Tabelle 38. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Quarz.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 25.03.08	10% Quarz- sand	Stuckgips lphofen 25.03.08	10% Quarz- sand
WGW		0,60	0,60		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	199,0
Breite		150,0	150,0	147,5	149,0
Dicke		20,1	20,4	19,2	19,5
Schüsselung		keine		> 1,00	>1,00
Gewicht	g	728,8	773,6	588,8	633,4
Raumgewicht	kg/m³	1202,6	1257,8	1050,0	1095,4
Gewichtsverlust	g			140,0	140,3
	%			19,2	18,1
Schrumpfung längs				1,5	1,0
Schrumpfung quer				1,7	0,7

**Tabelle 39. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Quarz.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips lphofen 25.03.08	10 % Quarzsand	Stuckgips lphofen 25.03.08	10 % Quarzsand
WFW		0,60	0,60		
Länge	mm	160,5	160,2	151,0	146,0
Breite		40,0	40,0	34,5	34,0
Höhe		40,2	40,2	34,0	35,0
Gewicht	g	311,9	327,5	243,8	262,6
Raumgewicht	kg/m³	1208,4	1271,3	1376,3	1511,2
Gewichtsverlust	g			68,1	65,0
	%			21,8	19,8
Schrumpfung Länge				5,9	8,9
Schrumpfung Breite				13,8	15,0
Schrumpfung Höhe				15,4	12,9

## Gipsbaustoffe mit Trasszusatz

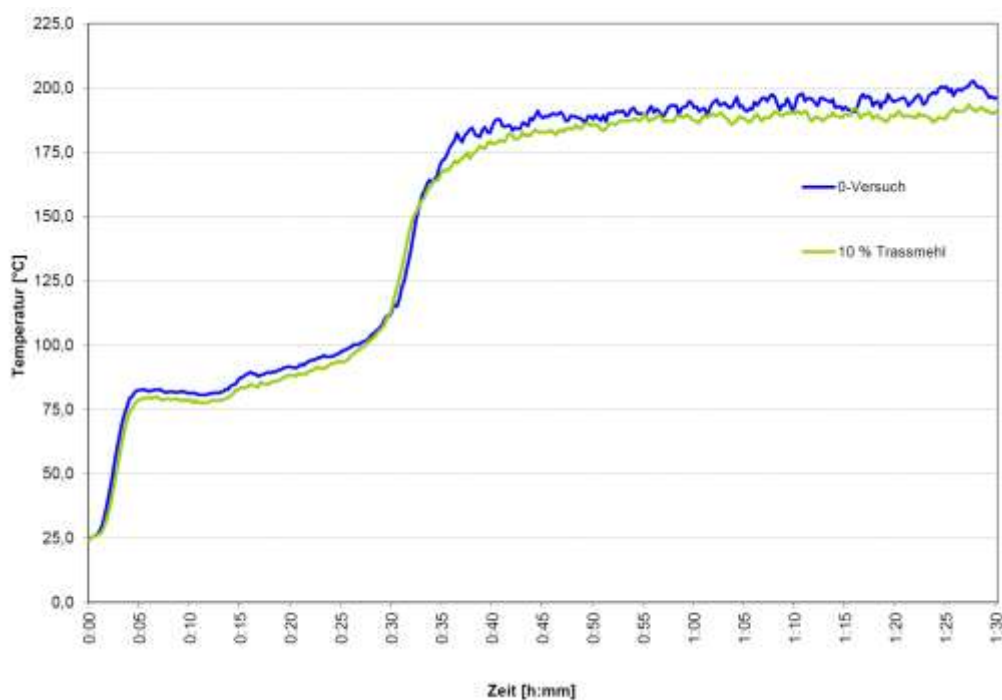


Abbildung 113. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Trass.

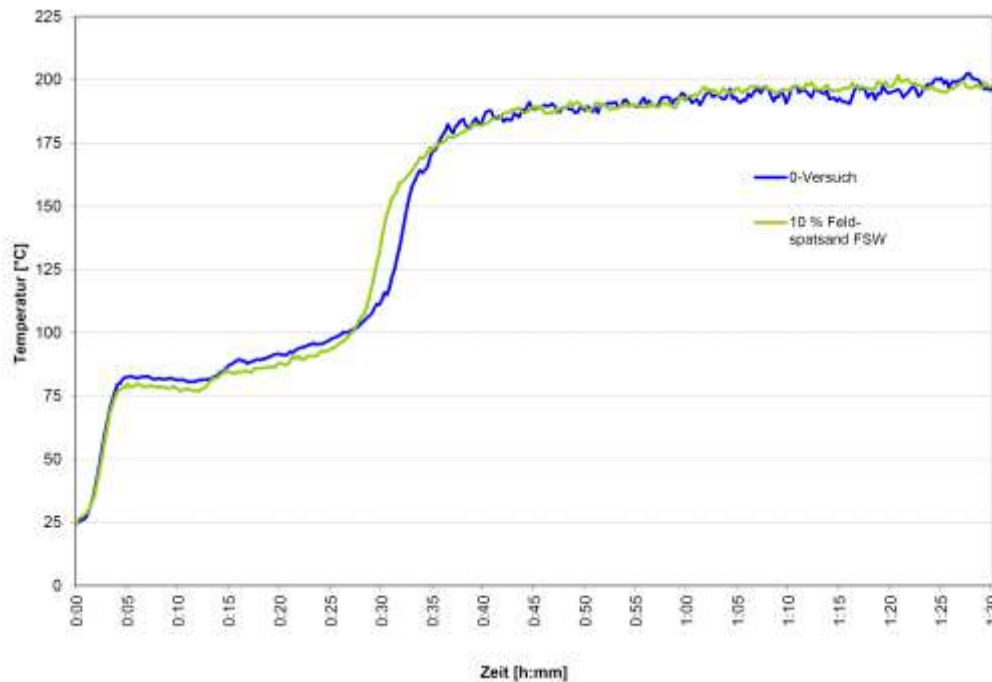
Tabelle 40. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Trass.

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Trassmehl	Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Trassmehl
WFW		0,6	0,6		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	200,0
Breite		150,0	150,2	147,0	149,0
Dicke		20,3	20,4	19,3	19,4
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	719,3	731,3	575,8	603,3
Raumgewicht	kg/m³	1175,2	1187,4	1025,1	1043,5
Gewichtsverlust	g			143,5	128,0
Schrumpfung längs	%			19,9	17,5
Schrumpfung quer				1,5	0,5
				2,0	0,8

**Tabelle 41. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Trass**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Trassmehl	Stuckgips lphofen 18.04.08	10 % Trassmehl
WFW		0,61	0,59		
Länge	mm	160,50	160,50	145,00	146,00
Breite		40,00	40,00	33,50	34,00
Höhe		40,20	40,30	33,50	34,00
Gewicht	g	305,51	309,25	239,55	244,56
Raumgewicht	kg/m³	1183,76	1195,28	1472,10	1449,02
Gewichtsverlust	g			65,96	64,69
				21,59	20,92
Schrumpfung Länge	%			9,66	9,03
Schrumpfung Breite				16,25	15,00
Schrumpfung Höhe				16,67	15,63

#### Gipsbauteile bei Zugabe von Kaolin mit Feldspäten, Kaolin und Tonen



**Abbildung 114. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Feldspat.**

**Tabelle 42. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Feldspat.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		0-Versuch	10 % Feldspatsand FSW	0-Versuch	10 % Feldspatsand FSW
WFW		0,62	0,57		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke		20,2	20,4	19,2	19,5
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	745,0	570,9	610,2
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1211,3	1018,0	1071,5
Gewichtsverlust	g			140,1	134,8
	%			19,7	18,1
Schrumpfung längs				1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	1,7

**Tabelle 43. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Feldspat.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		0-Versuch	10 % Feldspatsand FSW	0-Versuch	10 % Feldspatsand FSW
WFW		0,62	0,57		
Länge	mm	160,2	160,5	145,0	145,0
Breite		40,0	40,0	33,0	34,0
Höhe		40,5	40,5	33,0	34,0
Gewicht	g	301,7	312,6	236,1	250,1
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1202,4	1495,1	1492,3
Gewichtsverlust	g			65,6	62,5
	%			21,7	20,0
Schrumpfung Länge				9,5	9,7
Schrumpfung Breite				17,5	15,0
Schrumpfung Höhe				18,5	16,0

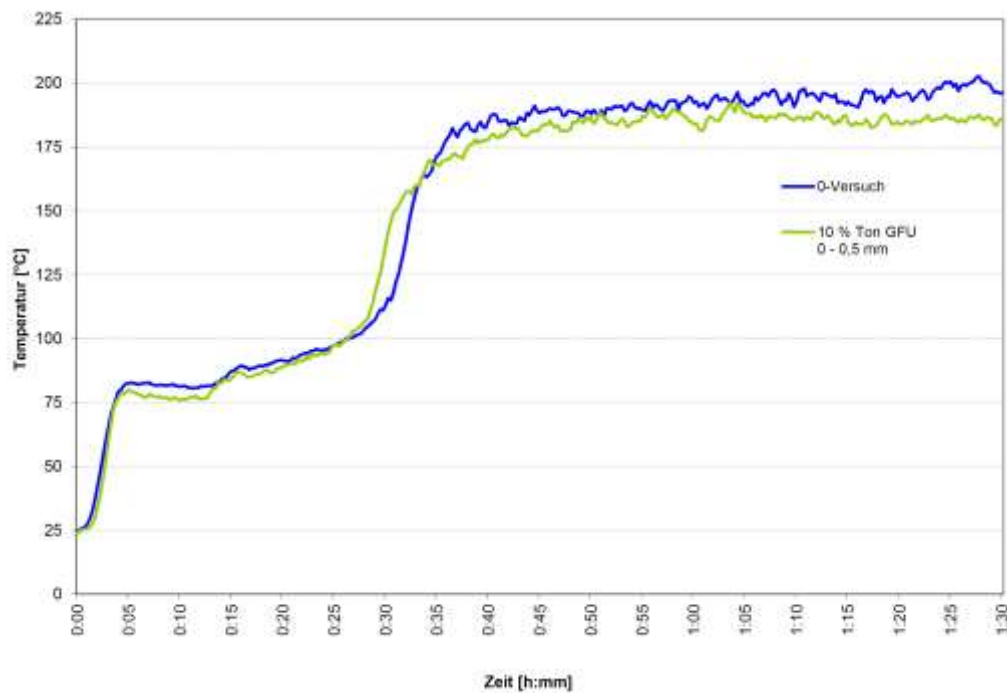


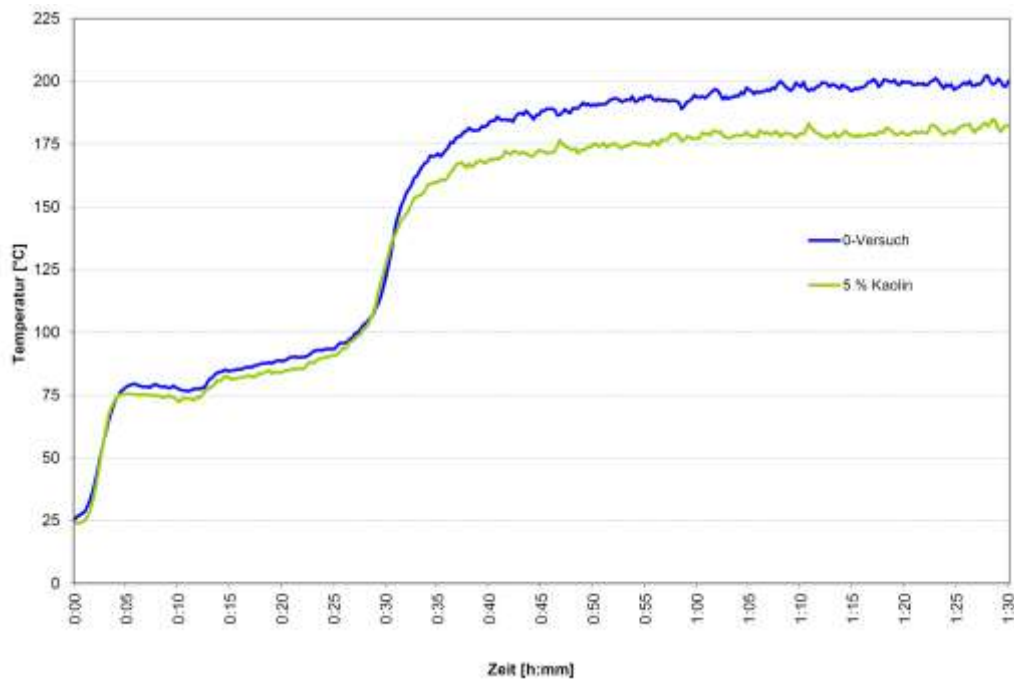
Abbildung 115. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Ton GFU.

Tabelle 44. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Ton GFU.

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		0-Versuch	10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm	0-Versuch	10 % Ton GFU 0 - 0,5 mm
WFW		0,6	0,6		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	197,5
Breite	mm	150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke	mm	20,2	20,1	19,2	19,3
Schüsselung	mm	keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	689,7	570,9	560,6
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1138,1	1018,0	997,1
Gewichtsverlust	g			140,1	129,1
	%			19,7	18,7
Schrumpfung längs	%			1,5	1,7
Schrumpfung quer	%			2,0	1,7

**Tabelle 45. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Ton GFU.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		0-Versuch	10 % Ton GFU	0-Versuch	10 % Ton GFU
WFW		0,62	0,62		
Länge	mm	160,2	160,3	145,0	151,0
Breite		40,0	40,0	33,0	37,0
Höhe		40,5	40,5	33,0	37,0
Gewicht	g	301,7	297,4	236,1	235,1
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1145,3	1495,1	1137,1
Gewichtsverlust	g			65,6	62,4
				21,7	21,0
Schrumpfung Länge	%			9,5	5,8
Schrumpfung Breite				17,5	7,5
Schrumpfung Höhe				18,5	8,6



**Abbildung 116. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Kaolin.**

**Tabelle 46. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Kaolin.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		Stuckgips 16.06.08	5 % Kaolin	Stuckgips 16.06.08	5 % Kaolin
WFW		0,62	0,63		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	199,0
Breite		150,0	150,0	147,0	149,0
Dicke		20,1	20,2	19,0	19,4
Schüsselung		keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	699,8	688,8	568,7	558,8
Raumgewicht	kg/m³	1154,7	1131,0	1028,4	971,4
Gewichtsverlust	g			131,1	130,0
	%			18,7	18,9
Schrumpfung längs	%			1,5	1,0
Schrumpfung quer				2,0	0,7

**Tabelle 47. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Kaolin.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		Stuckgips 16.06.08	5 % Kaolin	Stuckgips 16.06.08	5 % Kaolin
WFW		0,62	0,63		
Länge	mm	160,2	160,5	145,0	147,0
Breite	mm	40,0	40,0	33,0	35,0
Höhe	mm	40,5	40,5	33,0	35,0
Gewicht	g	301,7	296,2	236,1	232,0
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1139,2	1495,1	1288,4
Gewichtsverlust	g			65,6	64,2
	%			21,7	21,7
Schrumpfung Länge	%			9,5	8,4
Schrumpfung Breite	%			17,5	12,5
Schrumpfung Höhe	%			18,5	13,6

## Anhydritmehl

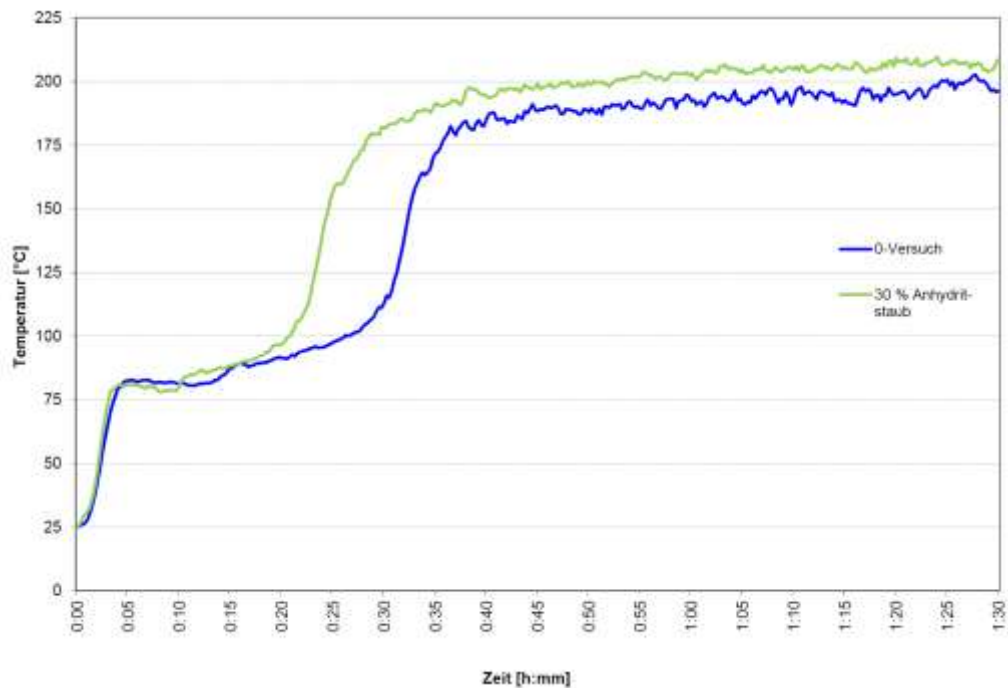


Abbildung 117. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Anhydritmehl.

Tabelle 48. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Anhydritmehl.

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		0-Versuch	30 % Anhydritmehl	0-Versuch	30 % Anhydritmehl
WFW		0,62	0,54		
Anrührzeiten	s	15s Einstreuen - 15s Sumpfen - 30s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite	mm	150,5	150,0	147,5	147,5
Dicke	mm	20,2	20,0	19,2	18,8
Schüsselung	mm	keine		> 1,00	> 1,00
Gewicht	g	711,0	723,6	570,9	614,6
Raumgewicht	kg/m³	1163,5	1200,0	1018,0	1119,4
Gewichtsverlust	g			140,1	109,0
	%			19,7	15,1
Schrumpfung längs	%			1,5	1,5
Schrumpfung quer	%			2,0	1,7

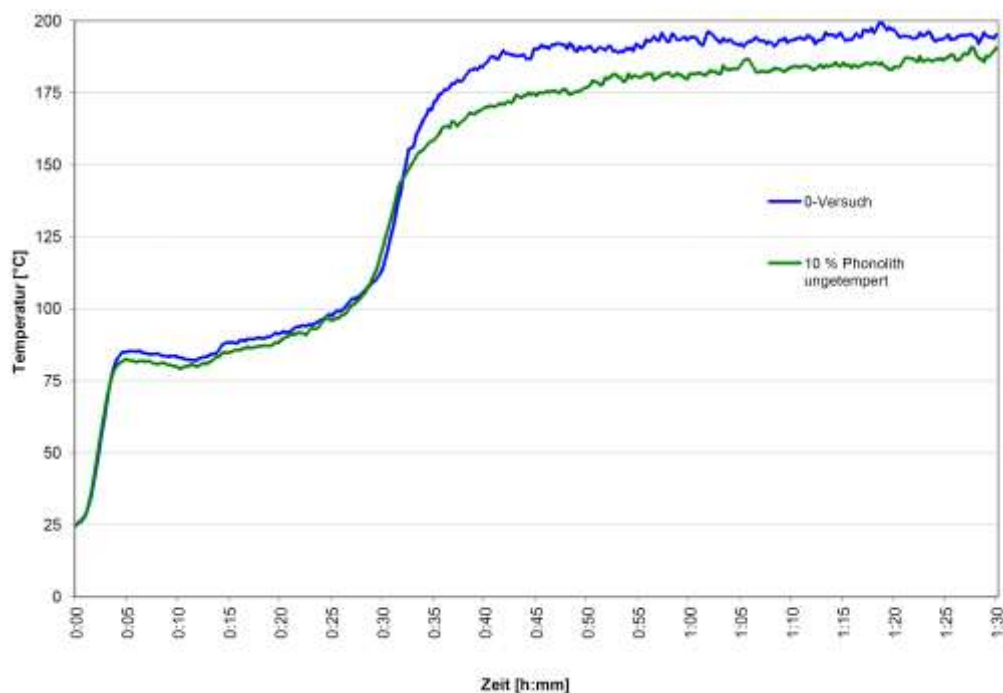


**Tabelle 49. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Anhydritmehl.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		0-Versuch	30% Anhydrit-mehl	0-Versuch	30 % Anhydrit-mehl
WFW		0,62	0,54		
Länge	mm	160,2	160,5	144,0	145,0
Breite		40,0	40,0	33,0	34,5
Höhe		40,5	40,5	33,0	34,0
Gewicht	g	301,7	314,2	236,1	259,3
Raumgewicht	kg/m³	1162,3	1208,3	1505,5	1524,7
Gewichtsverlust	g			65,6	54,9
				21,7	17,5
Schrumpfung Länge	%			10,1	9,7
Schrumpfung Breite				17,5	13,8
Schrumpfung Höhe				18,5	16,0

### Gipsbaustoffe mit Phonolithmehl

Auf den Wärmedurchgang einer Gipsplatte mit 10 % Phonolithmehl hat das zugesetzte Mineral kaum einen Einfluss. Die Temperatur steigt in den ersten drei Phasen der Erwärmung genau so schnell wie beim Nullversuch. Lediglich in der vierten Phase der langsamen Erwärmung steigt die Temperatur bei den Platten mit Phonolith etwas langsamer als beim Nullversuch. Auch das erreichte Temperaturmaximum liegt bei den Platten mit Phonolithmehl niedriger, wobei es bei ungetempertem Phonolith am niedrigsten ist. Abbildung 118. Die Risse in Platten und Prismen mit 10 % Phonolith unterscheiden sich zwar optisch von den reinen Gipsplatten bzw. Prismen, durch die Phonolithzugabe wird jedoch keine höhere Stabilität der Prüfkörper nach Hitzeeinwirkung erreicht (Tabelle 51).



**Abbildung 118. Temperaturverlauf auf der Rückseite von Platten, hergestellt unter Zugabe von Phonolithmehl.**

**Tabelle 50. Plattenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Phonolithmehl.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 970°C	
		0-Versuch	10 % Phonolith ungetemper t	0-Versuch	10 % Phonolith ungetemper t
WFW		0,60	0,63		
Anrührzeiten	s	15 s Einstreuen - 15 s Sumpfen - 30 s Rühren			
Trocknung		30min RT - 60min 80 °C - Restfeuchte bei 40 °C			
Länge	mm	201,0	201,0	198,0	198,0
Breite		150,0	150,0	147,0	147,0
Dicke		20,3	20,1	19,1	19,3
Schüsselung					
Gewicht	g	725,3	720,5	582,2	586,4
Raumgewicht	kg/m³	1185,0	1189,0	1047,2	1043,8
Gewichtsverlust	g			143,1	134,2
				19,7	18,6
Schrumpfung längs	%			1,5	1,5
Schrumpfung quer				2,0	2,0

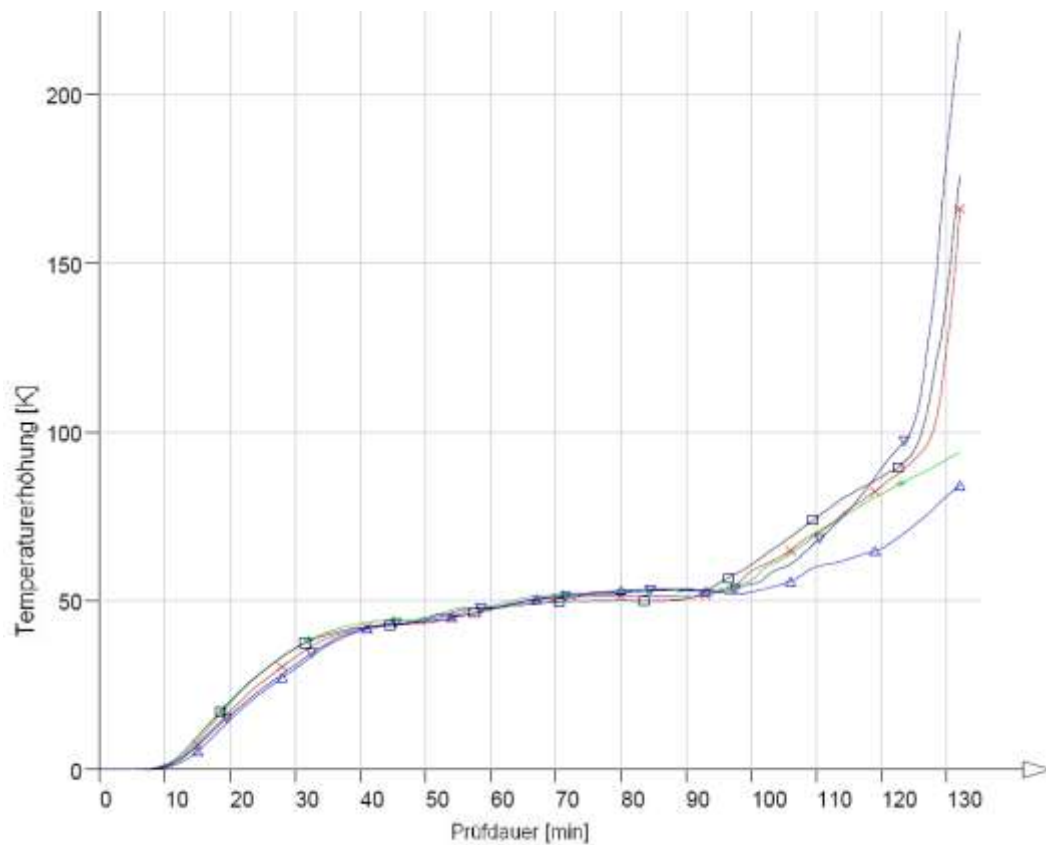
**Tabelle 51. Prismenkennwerte vor und nach der Brandbeanspruchung mit und ohne Phonolithmehl.**

Parameter	Einheit	vor der Prüfung		nach 1,5 h bei ca. 1000°C	
		0-Versuch	10 % Phonolith ungetemper t	0-Versuch	10 % Phonolith ungetemper t
WFW		0,6	0,59		
Länge	mm	160,0	160,0	147,0	145,0
Breite		40,1	40,1	33,0	33,5
Höhe		40,2	40,2	33,0	33,5
Gewicht	g	307,0	306,7	240,5	244,5
Raumgewicht	kg/m³	1190,1	1189,2	1502,4	1502,3
Gewichtsverlust	g			66,5	62,3
				21,6	20,3
Schrumpfung Länge	%			8,1	9,4
Schrumpfung Breite				17,7	16,5
Schrumpfung Höhe				17,9	16,7

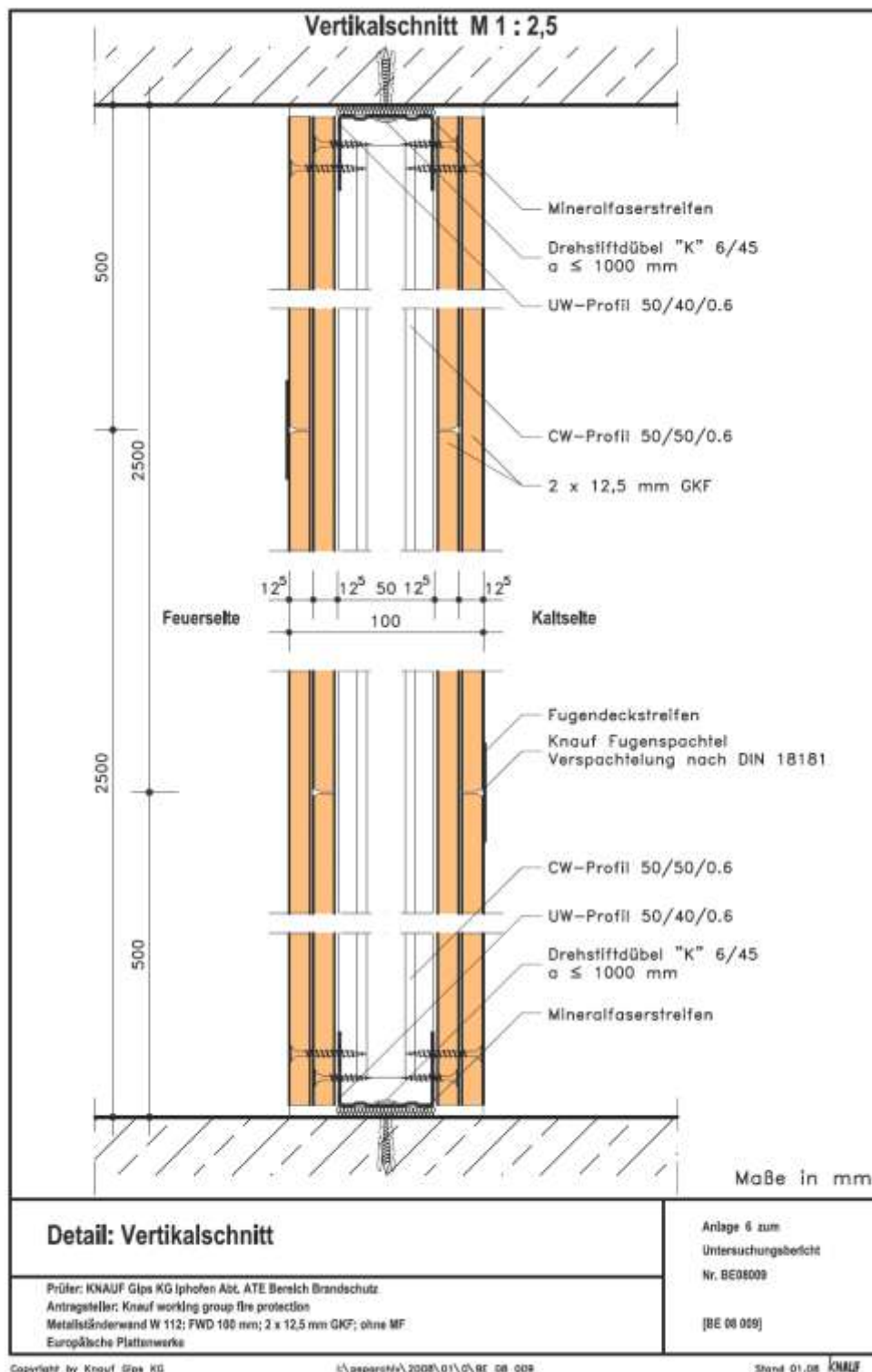
## **A VI.            Ergänzung zu Abschnitt 9**

Die Konstruktion der Wand besteht aus Stahlblechprofilen mit Zinkauflage und einem „C“ Querschnitt mit einer Höhe von 48 mm die die Funktion der Ständer haben. Die Ständer werden Vertikal im Achsenabstand von 600 mm oder 625 mm in horizontale Randprofile eingeschoben. Der Achsenabstand ist abhängig von der gewählten Plattenbreite. Die Randprofile bestehen aus Stahlblechprofilen mit Zinkauflage und einem „U“ Querschnitt mit einer Höhe von 50 mm und werden an den Prüfraumen oben und unten mit Drehstiftdübeln K 6/45 im Abstand von 1000 mm befestigt. Die Ständer und die Randprofile müssen den Bedingungen der DIN EN 14195 entsprechen [36]. Die Ständerkonstruktion ist für diese Untersuchungen ohne Dämmstoffeinlage ausgeführt. Das betont die Eigenschaften der Platte bei hoher Temperatur. Die Ständerkonstruktion wird mit zwei Lagen Feuerschutzplatten beidseitig beplankt. Alle Stöße werden mit einer Fugenspachtel versiegelt [43] (Abbildung 120). Die Fugenspachtel muss den Bedingungen der DIN EN 13963 entsprechen [37].

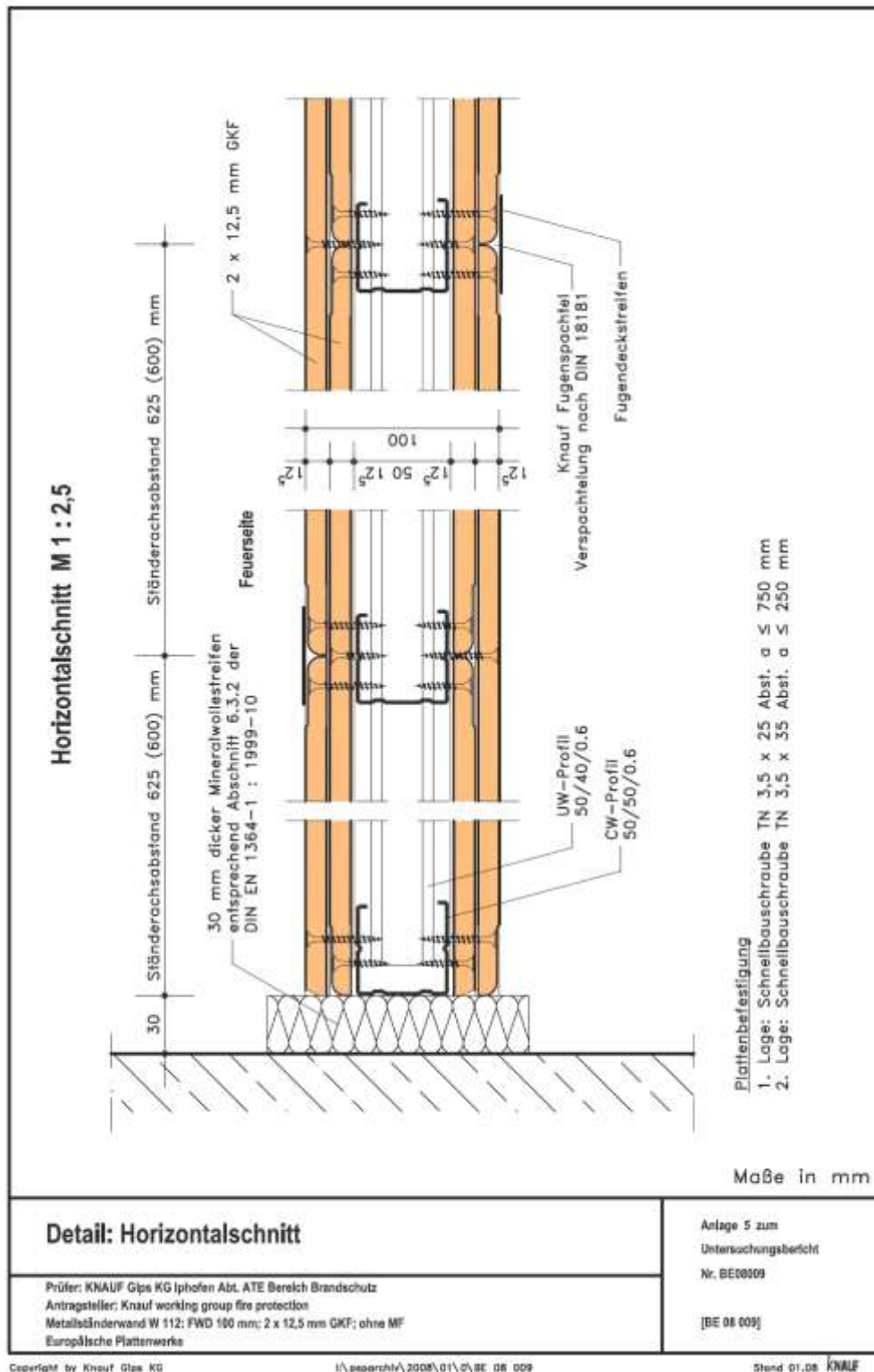
**A VII. Ergänzung zu Abschnitt 10**



**Abbildung 119. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung einer Wandkonstruktion mit Gipsplatten mit Vliesummantelung.**



**Abbildung 120. Vertikalschnitt der W112 Metallständerwand.**



**Abbildung 121. Horizontalschnitt der W112 Metallständerwand.**

Der statische Überdruck in der Brandkammer entspricht den Anforderungen der DIN EN 1363-1 [27] bzw. DIN EN 1364-1 [46]. Gemessen wurde 10 cm unterhalb der oberen Prüfrahmekante. Er wurde während der Gesamtprüfzeit konstant  $\leq 20$  Pascal gehalten.



**Abbildung 122. Der Ölbrenner.**

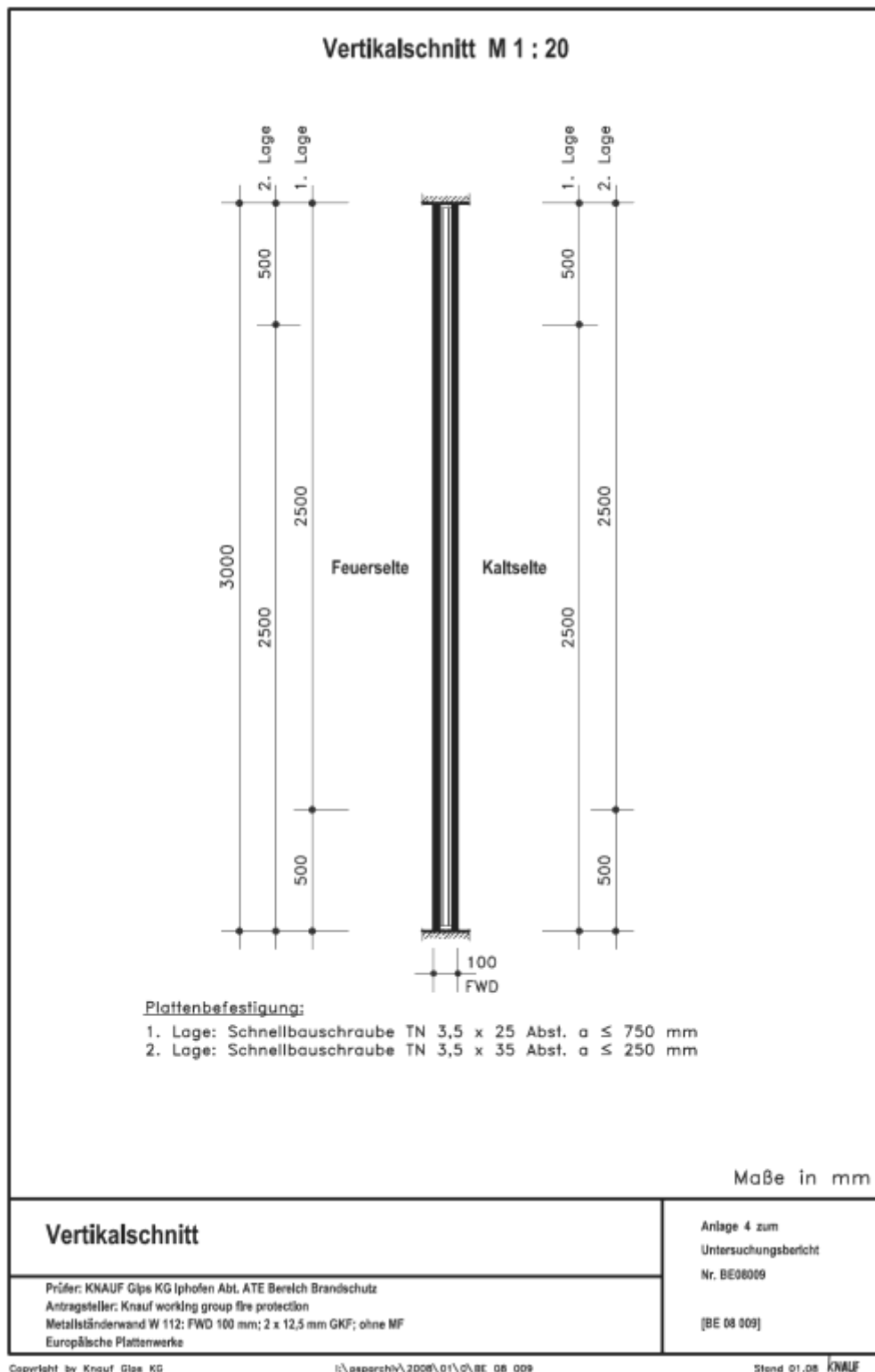


**Abbildung 123. Ni-Cr/Ni-Al-Platten-Thermoelement.**



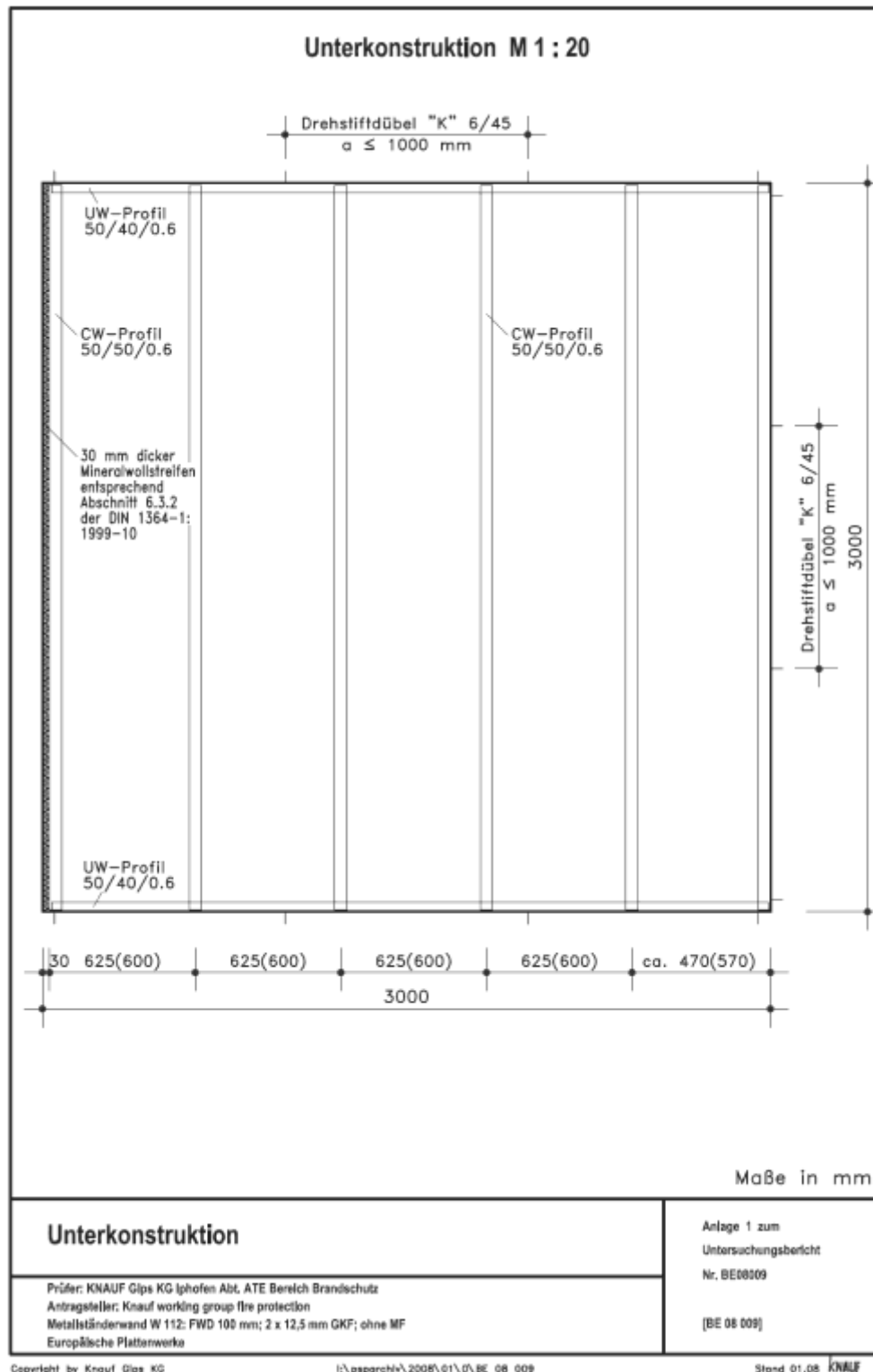
**Abbildung 124. Ni-Cr-Ni-Thermoelement.**

Im Prüfraum wurde eine Unterkonstruktion aus Profilen UW50 und CW50 eingebaut. Die CW-Profile wurden im Abstand  $a = 600$  mm eingestellt. Die Beplankung erfolgte mit  $2 \times 12,5$  mm Feuerschutzplatten. Die horizontalen Plattenstöße wurden auf der Feuerseite durchgängig 500 mm vom oberen Rand und auf der Kaltseite durchgängig 500 mm vom unteren Rand angeordnet. Der genaue Aufbau des Prüfkörpers ist in der Abbildung 120, 121 und 129 dargestellt.

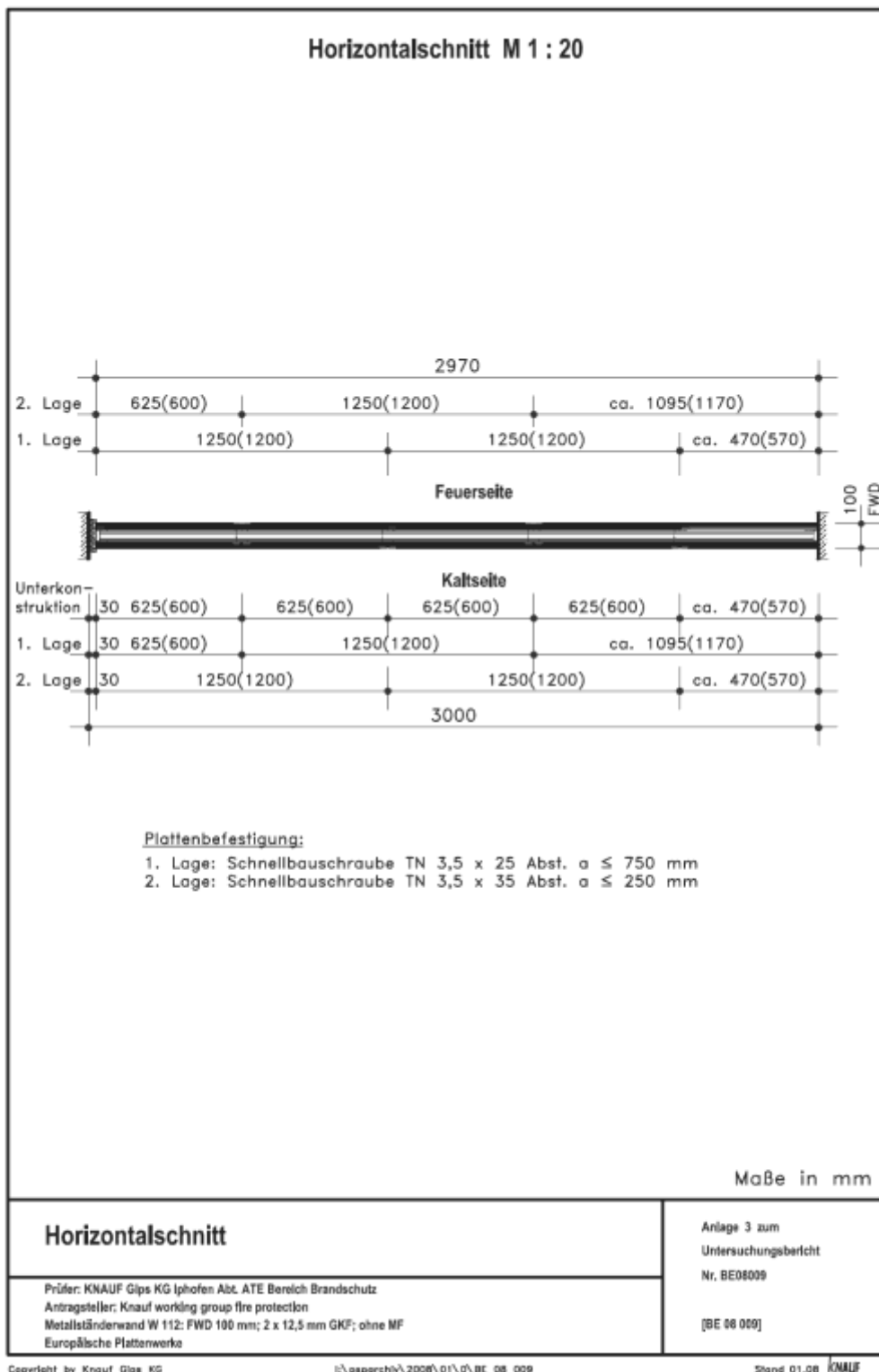


**Abbildung 125. Vertikalschnitt des Probekörpers.**

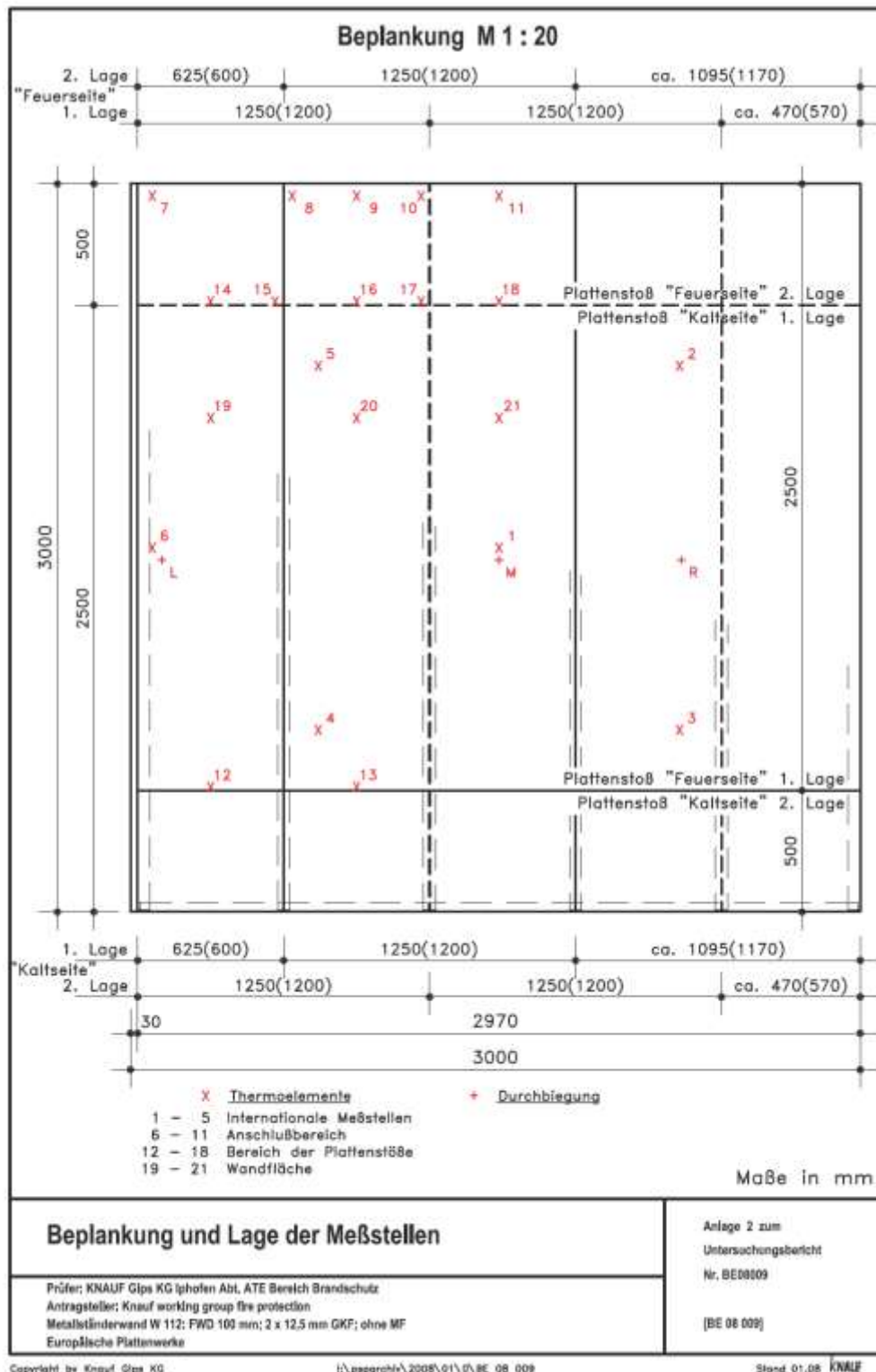




**Abbildung 126. Vorderansicht des Probekörpers.**



**Abbildung 127. Vertikalschnitt des Probekörpers.**



**Abbildung 128. Plan der Beplankung und Lage der Meßstellen.**

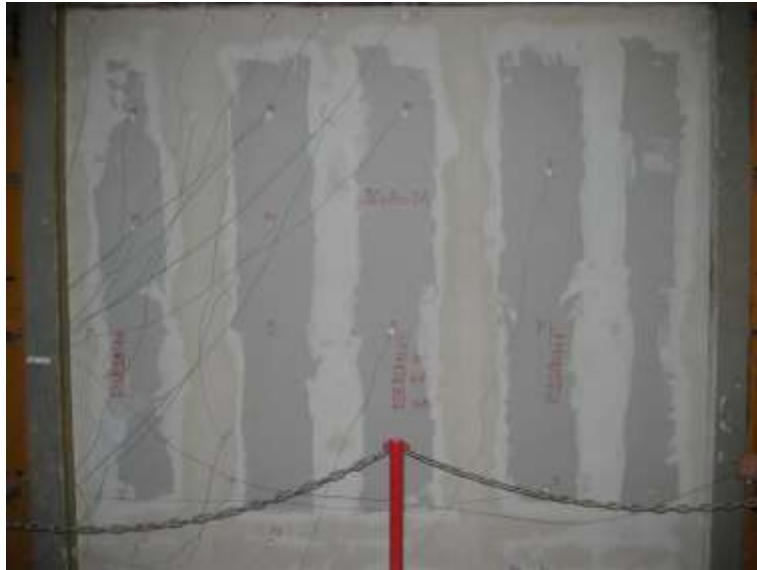


Abbildung 129. Eingebaute Testkonstruktion in den Prüfraum für Wandkonstruktionen.

### Prüfungen von Wandkonstruktionen mit REA-Gips

Prüfung A wurde mit Feuerschutzplatten aus 75% REA-Gips und 25% Natursips, mit einem Anteil von  $40\text{g/m}^2$  Gasfasern und 7,75% Kalkstein und einem Flächengewicht von  $9,53\text{ kg/m}^2$  durchgeführt.

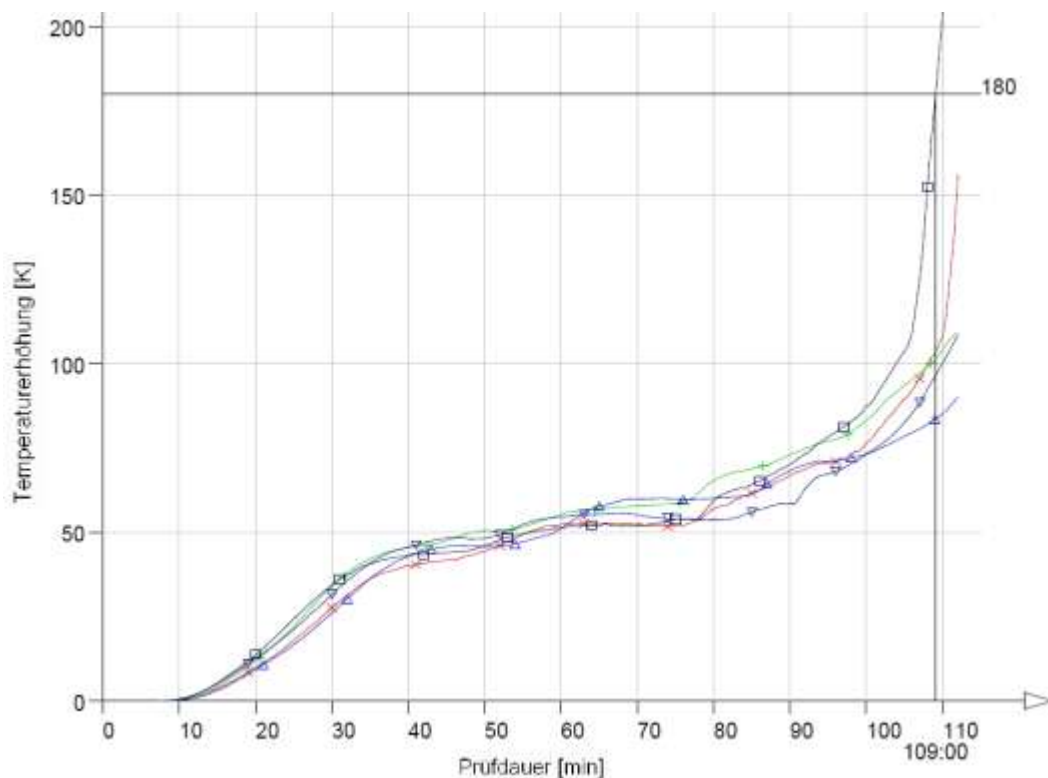
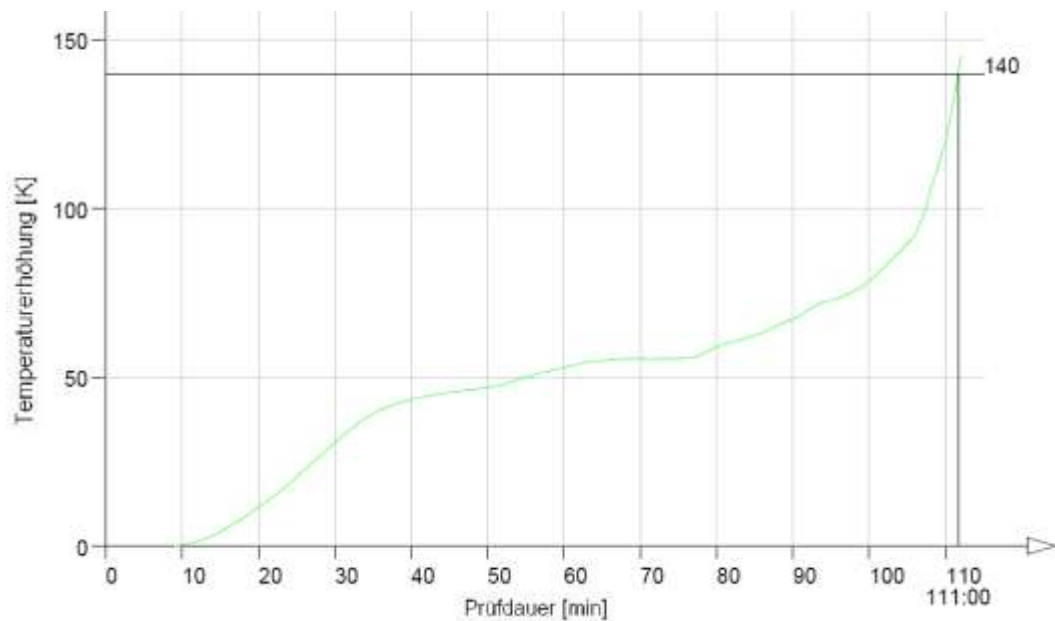
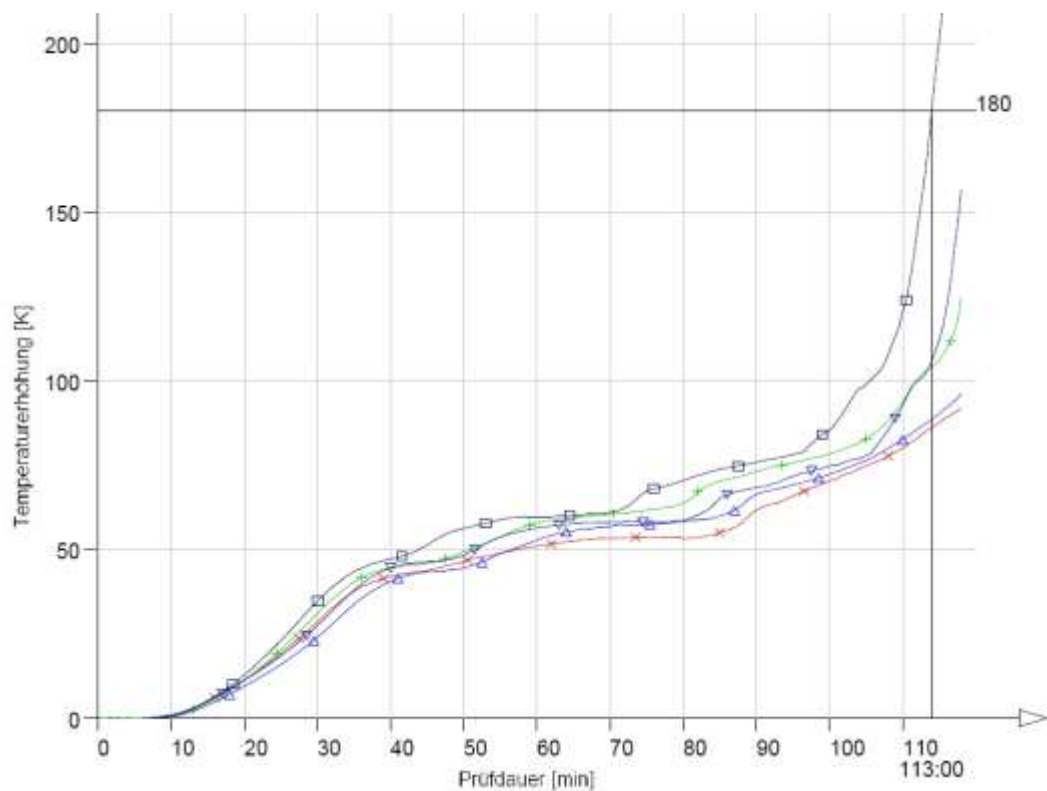


Abbildung 130. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung A.

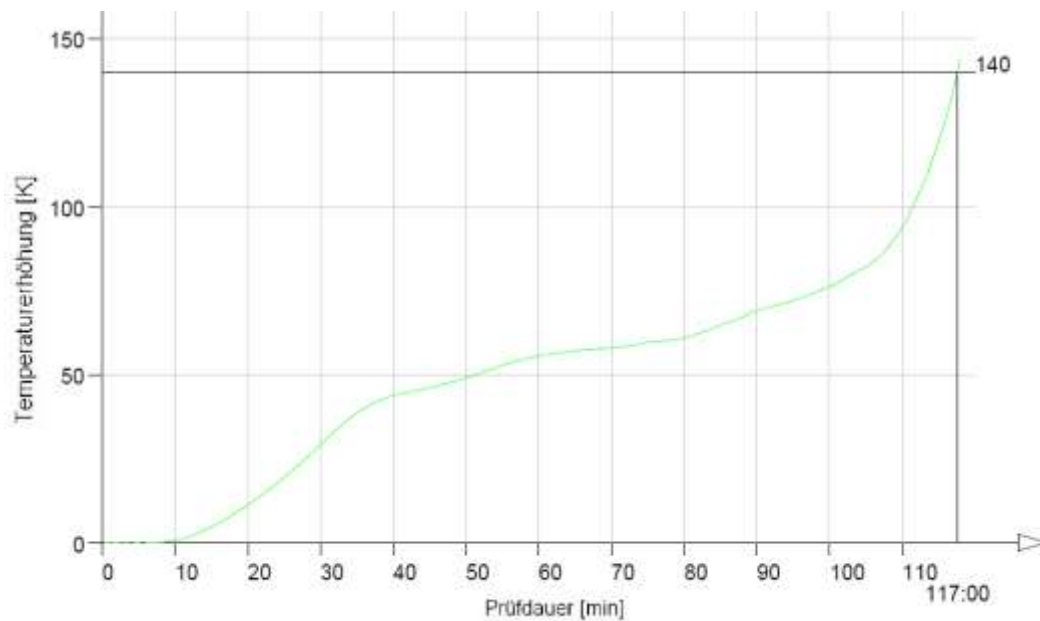


**Abbildung 131. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung A.**

Prüfung F mit Feuerschutzplatten aus 100% REA-Gips mit einem Anteil von  $83,9 \text{ g/m}^2$  Gasfasern und 1% Vermiculite und einem Flächengewicht von  $10,77 \text{ kg/m}^2$ .

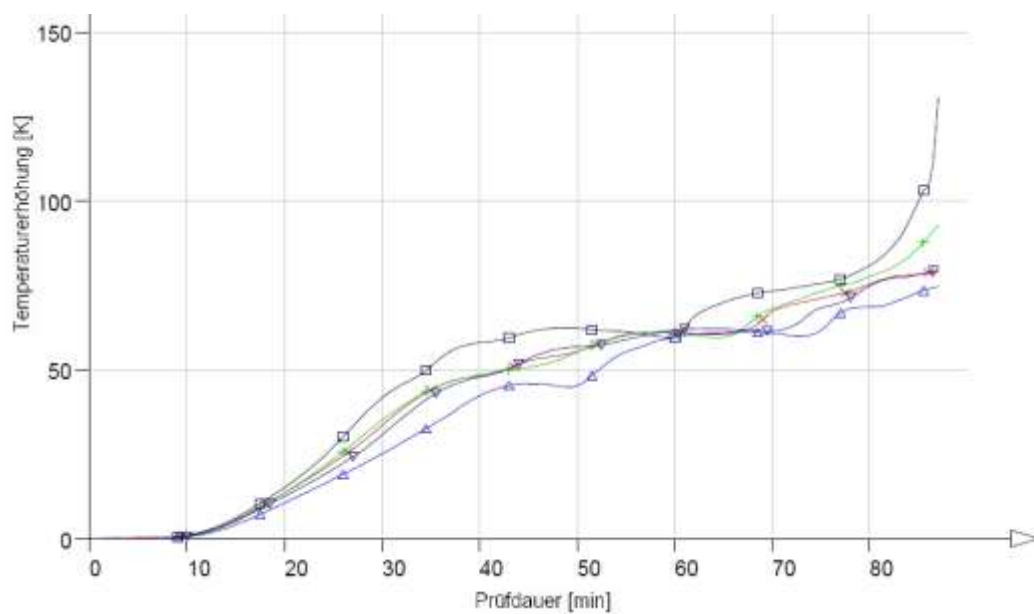


**Abbildung 132. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung F.**

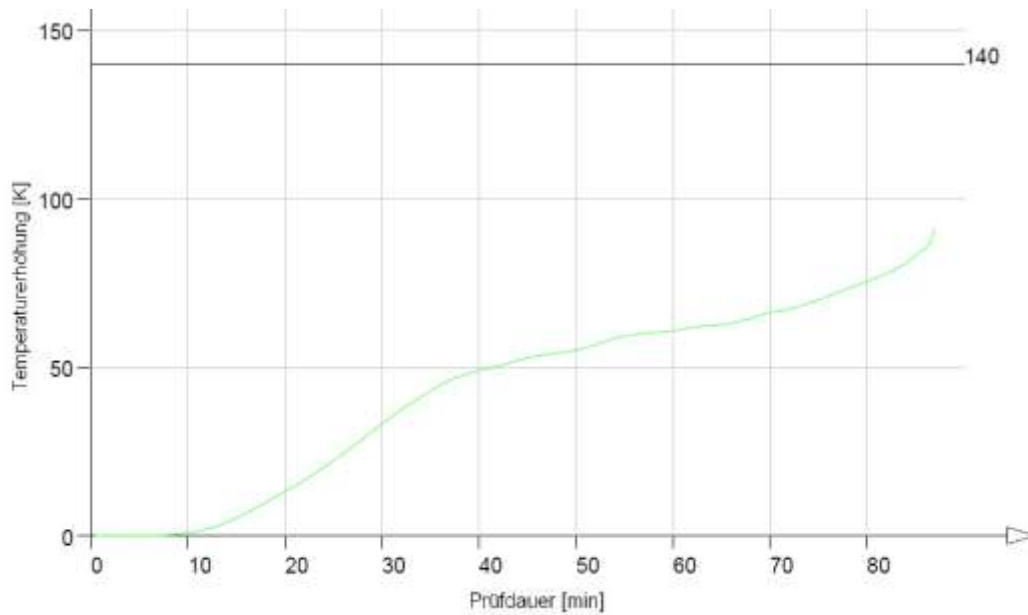


**Abbildung 133. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung F.**

Prüfung K wurde mit Feuerschutzplatten aus 100% REA-Gips, mit einem Anteil von  $19,5 \text{ g/m}^2$  Gasfasern und einem Flächengewicht von  $10,74 \text{ kg/m}^2$  durchgeführt.

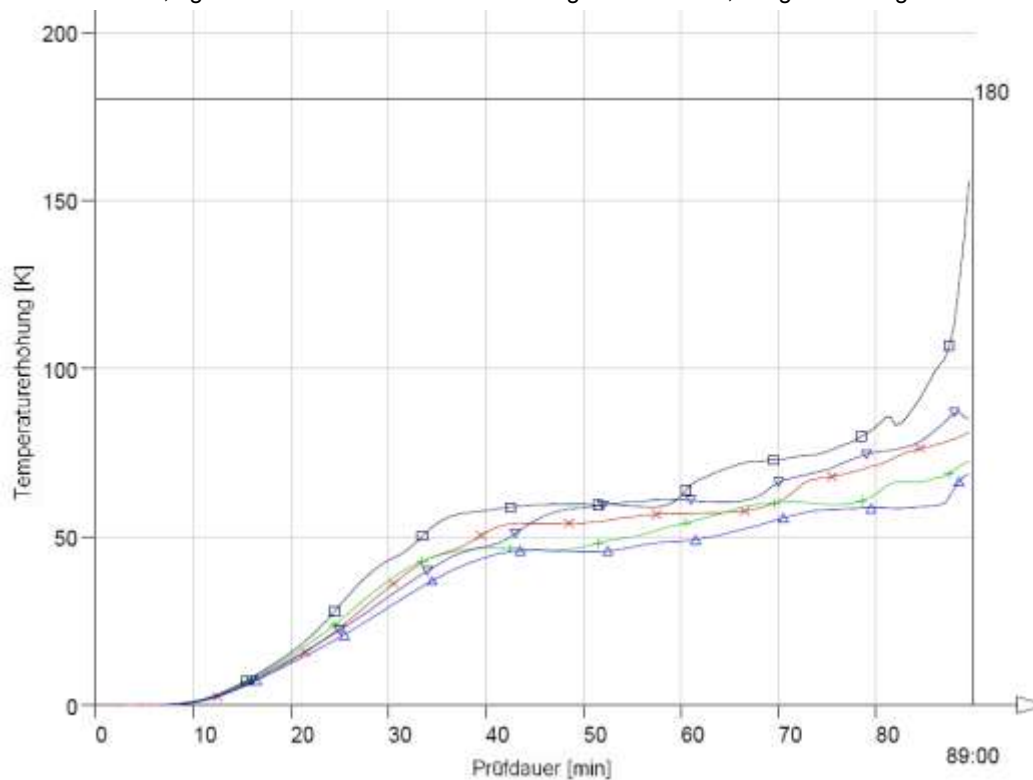


**Abbildung 134. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung K.**

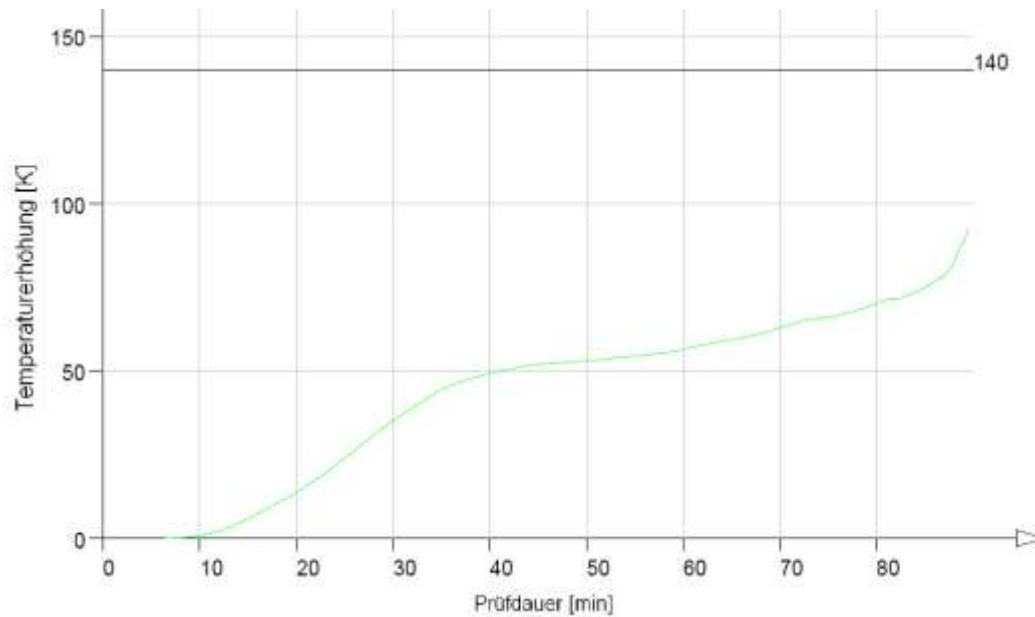


**Abbildung 135. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung K.**

Prüfung M wurde mit Feuerschutzplatten aus 91% REA-Gips, 7,5% Naturgips und 1,5% Abfallgips, mit einem Anteil von 19,5 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und einem Flächengewicht von 10,26 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

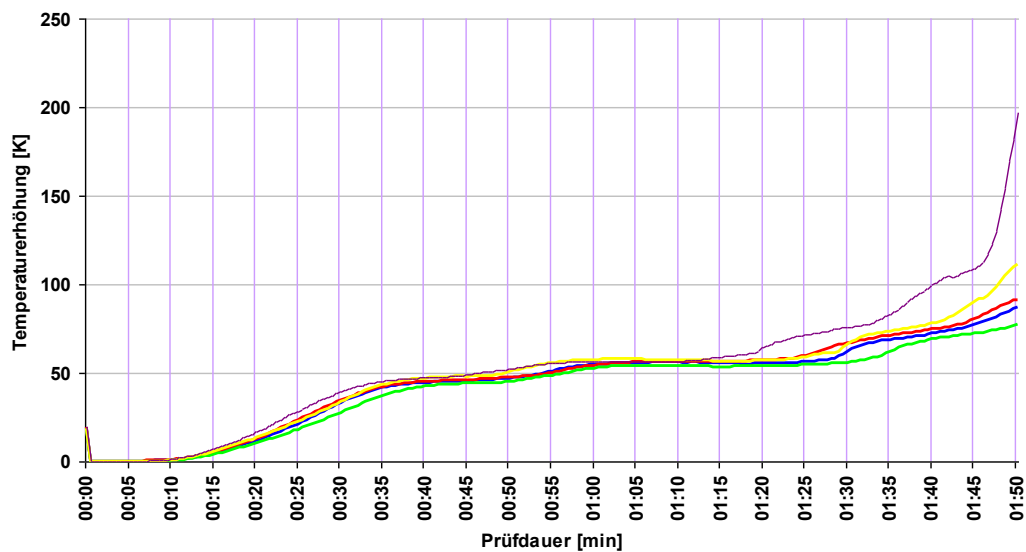


**Abbildung 136. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung M.**



**Abbildung 137. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung M.**

Prüfung AR wurde mit Feuerschutzplatten aus 75% REA-Gips und 25% Naturgips, mit einem Anteil von  $40\text{g/m}^2$  Gasfasern und 20% Rohperliten und einem Flächengewicht von  $9,53\text{ kg/m}^2$  durchgeführt.



**Abbildung 138. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung AR.**



## Prüfungen von Wandkonstruktionen mit Naturgips

Prüfung C wurde mit Feuerschutzplatten aus 100% Naturgips mit einem Anteil von 37,5 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und einem Flächengewicht von 11,97 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

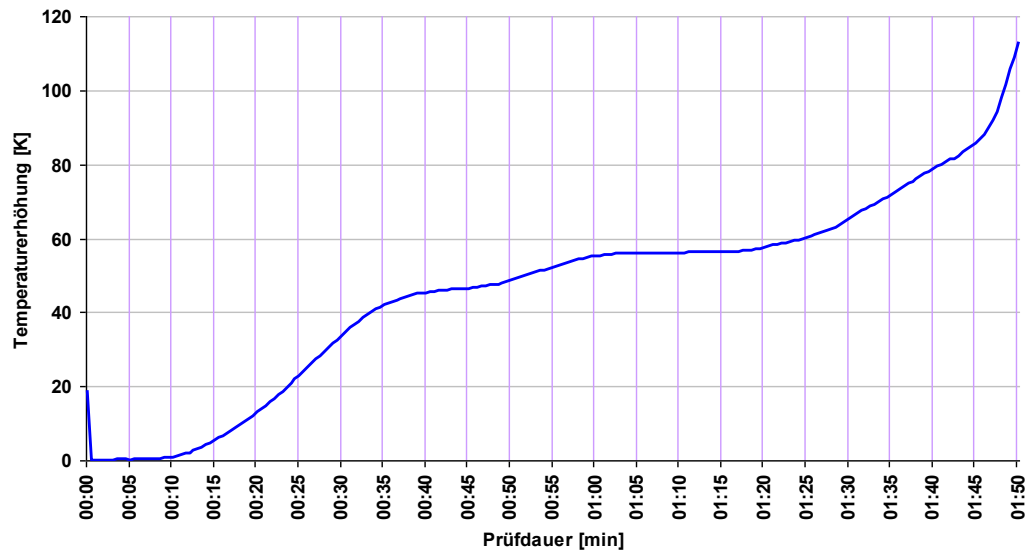


Abbildung 139. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung AR.

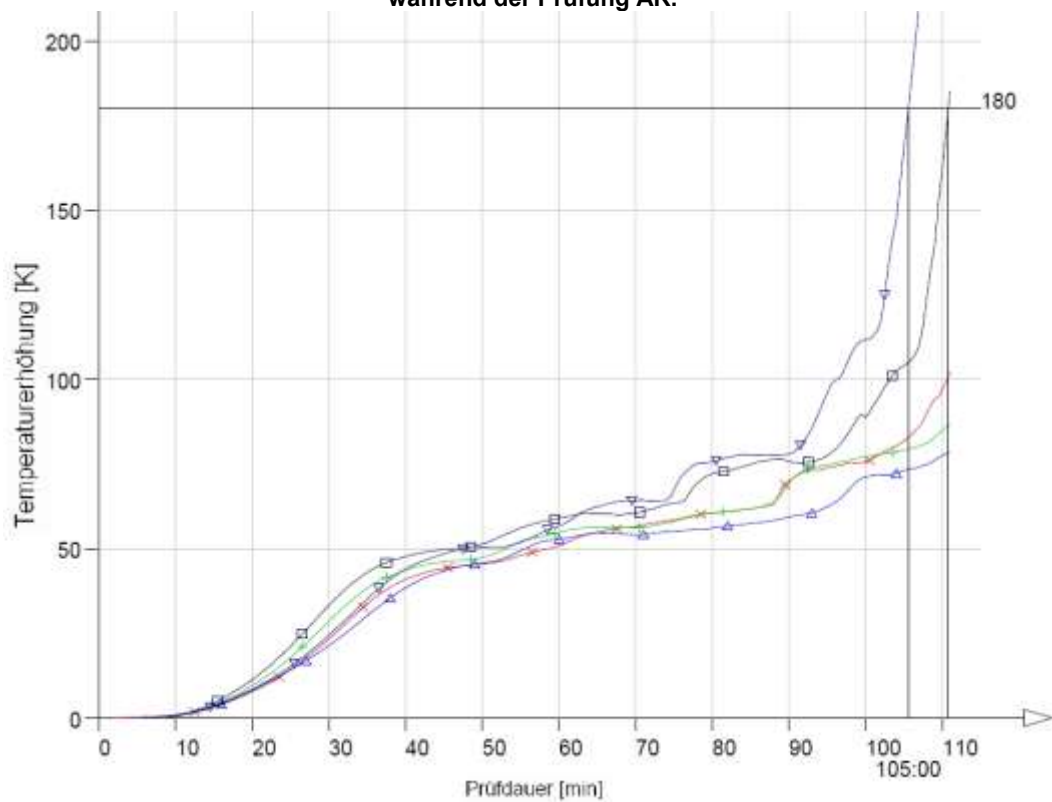
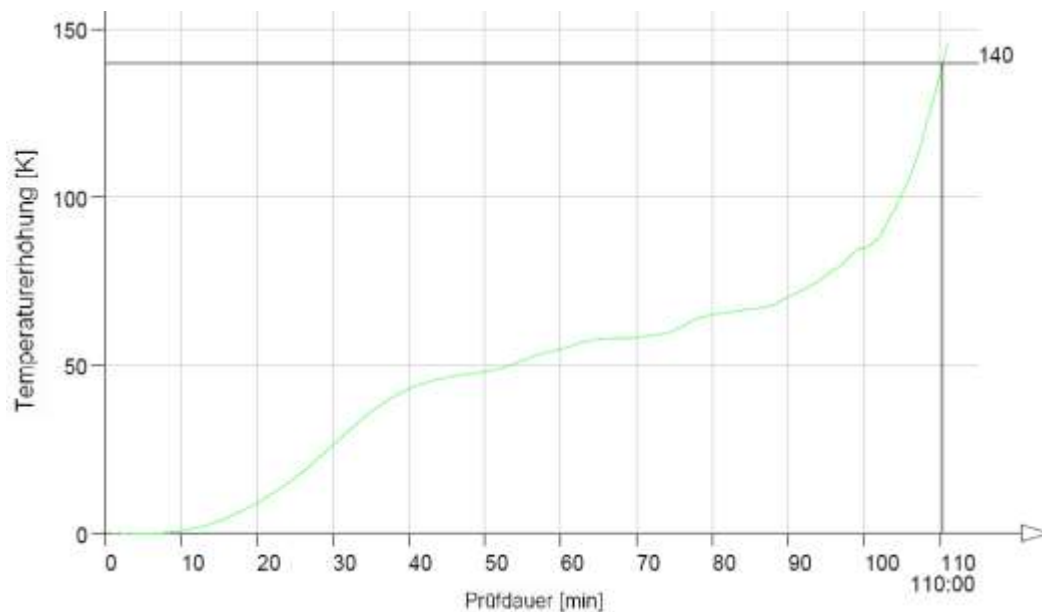
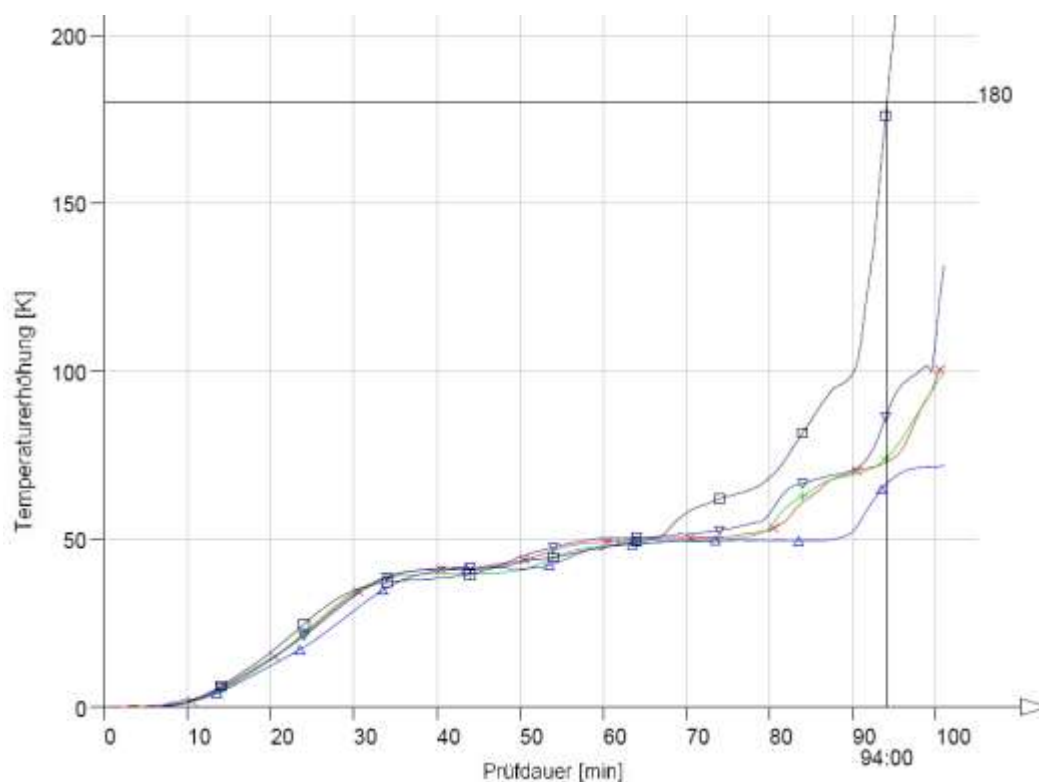


Abbildung 140. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung C.

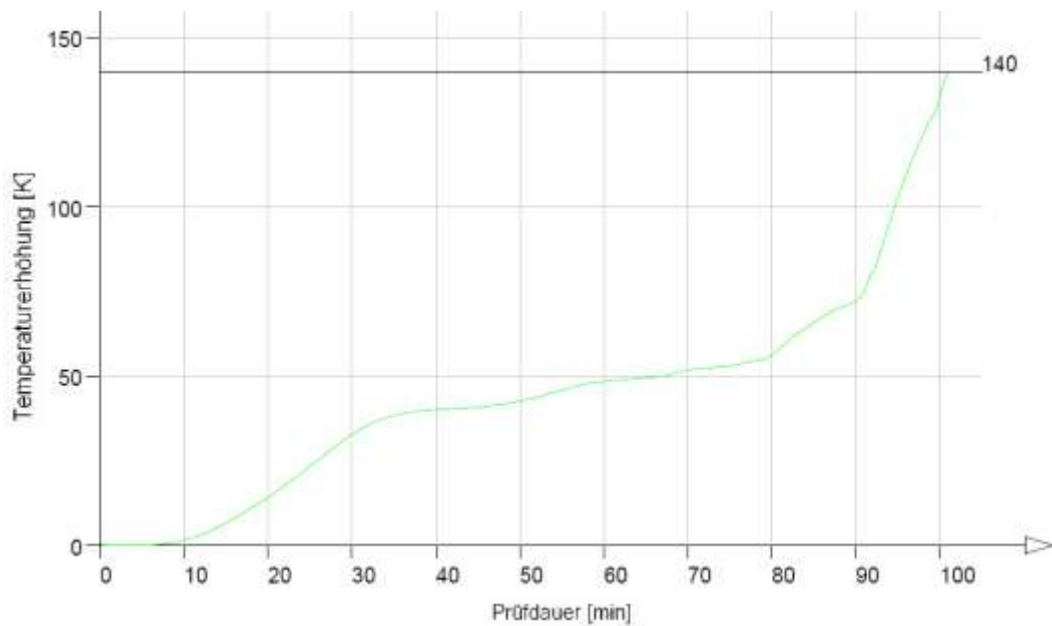


**Abbildung 141. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung C.**

Prüfung G wurde mit Feuerschutzplatten aus 100% Naturgips mit einem Anteil von 37,5 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und einem Flächengewicht von 10,23 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

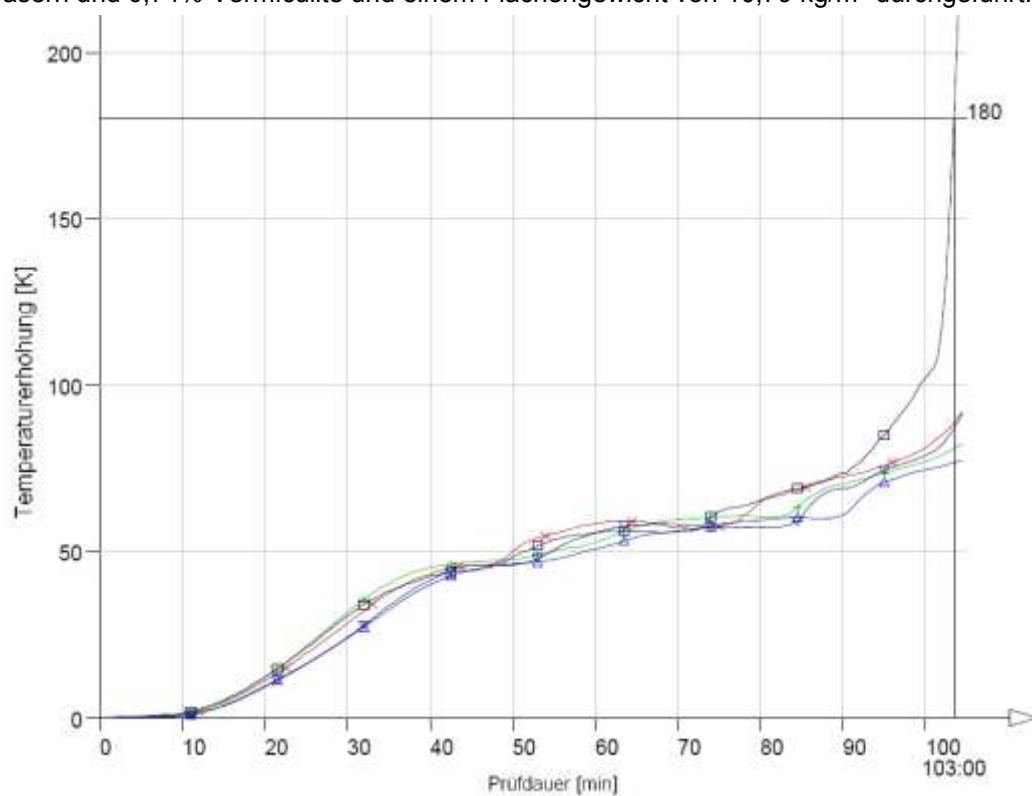


**Abbildung 142. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung G.**

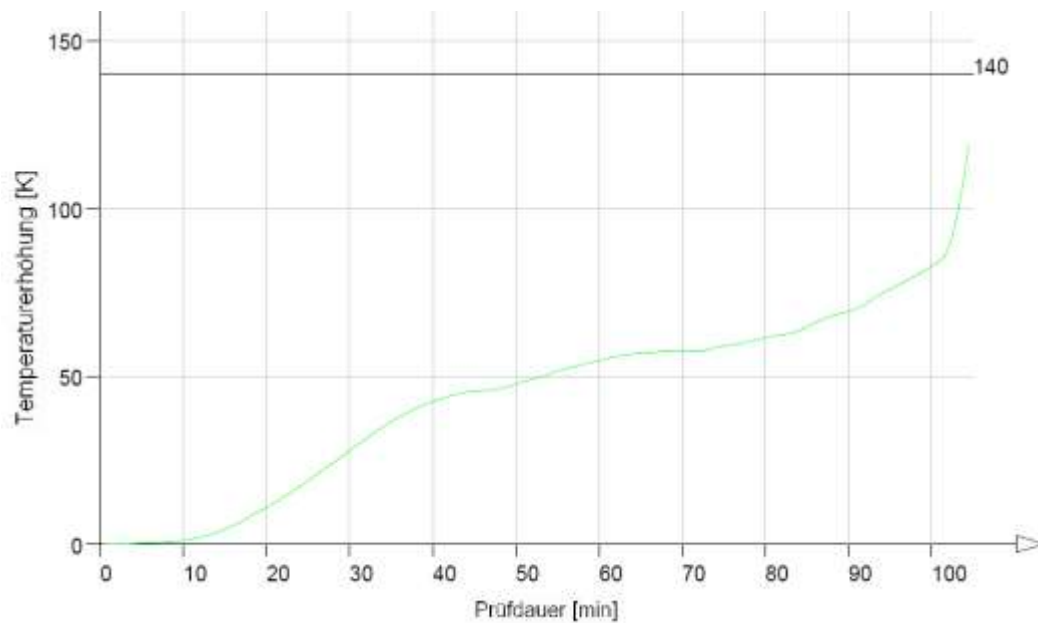


**Abbildung 143. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung G.**

Prüfung H wurde mit Feuerschutzplatten aus 100% Naturgips, mit einem Anteil von 24 g/m<sup>2</sup> Gasfasern und 0,74% Vermiculite und einem Flächengewicht von 10,79 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

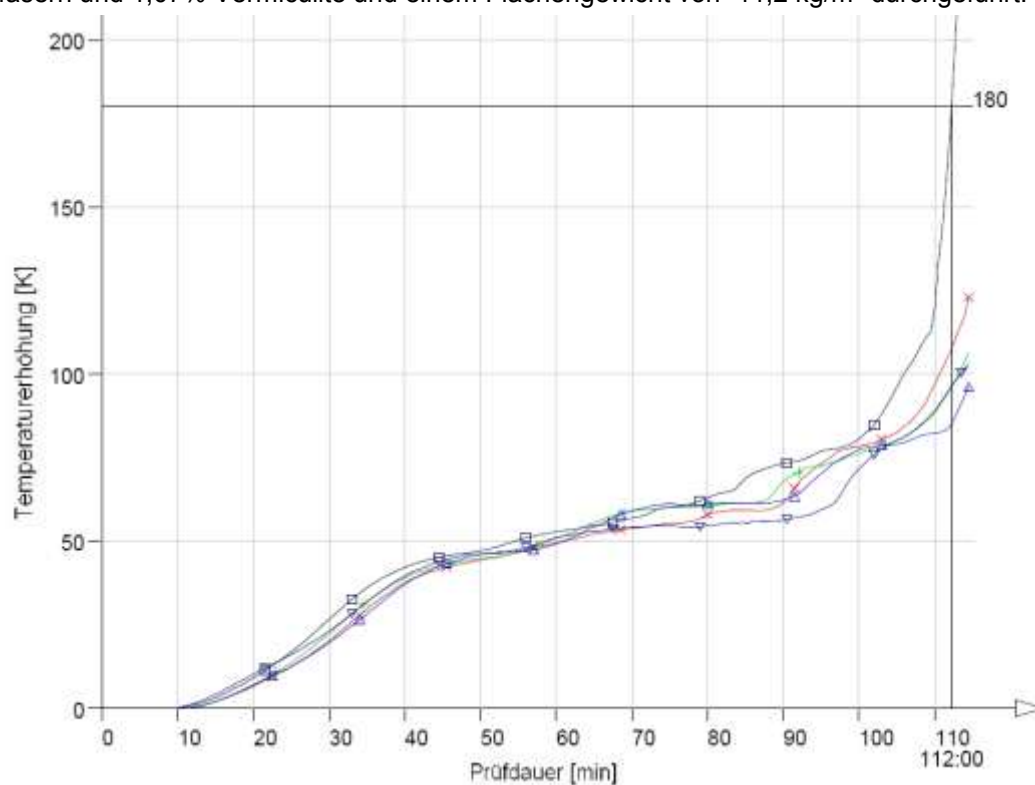


**Abbildung 144. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung H.**

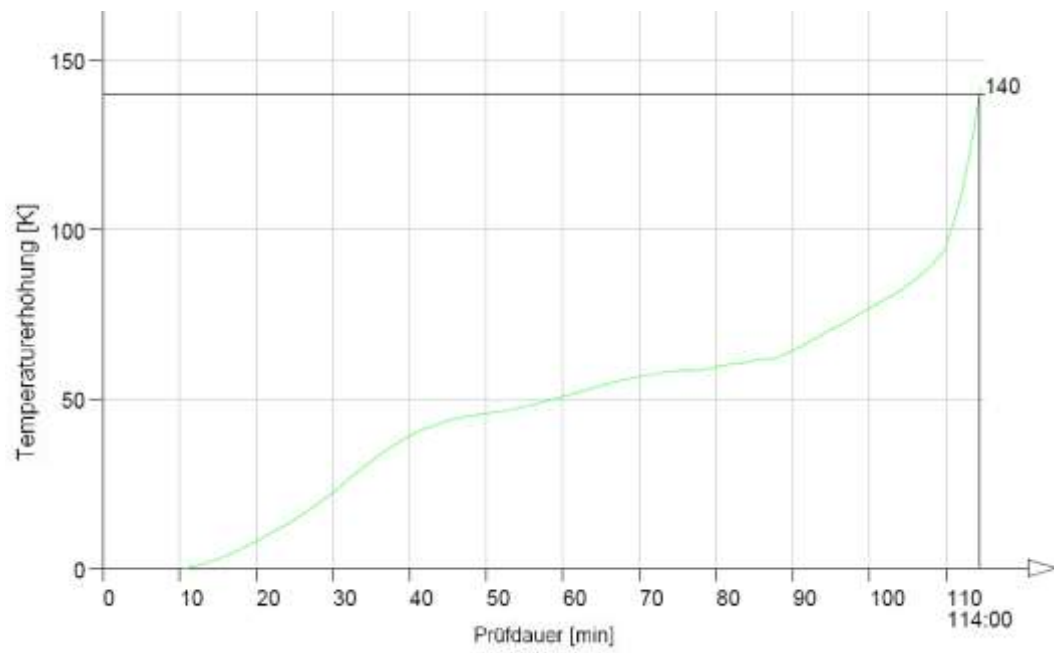


**Abbildung 145. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung H.**

Prüfung J wurde mit Feuerschutzplatten aus 100% Naturgips, mit einem Anteil von  $20,3 \text{ g/m}^2$  Gasfasern und 1,07% Vermiculite und einem Flächengewicht von  $11,2 \text{ kg/m}^2$  durchgeführt.



**Abbildung 146. Temperatur-Zeit-Kurven der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung J.**



**Abbildung 147. Temperatur-Zeit-Kurve des Mittelwertes der fünf internationalen Messstellen während der Prüfung J.**

## A VIII. Normen und Vorschriften

### Vorbeugender baulicher Brandschutz mit Gipsbaustoffen.

Um den Brandschutz für das Gebäude zu gewährleisten, können folgende Bauliche Maßnahmen vorgenommen werden:

- Warn-, Lösch- und Sicherheitseinrichtungen,
- Auswahl der Baustoffe (Baustoffklasse / Brandverhalten) bis hin zum Einsatz nichtbrennbarer Stoffe für bestimmte Einsatzbereiche,
- räumliche Abgrenzung von Flächen mit feuerwiderstandsfähigen Bauteilen zur Einschränkung von eventuellen Bränden,
- Schutz der tragenden Konstruktion zur Wahrung der Standsicherheit von Gebäuden im Brandfall.

Die verwendeten Baustoffe, Bauteile und Konstruktionen sind klassifiziert durch DIN 4102 [68-86], DIN EN 520 [3] Anhang B im Zusammenhang mit der EU-Kommissionsentscheidung (2006/673/EG) [38], durch Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (ABZ), Europäische technische Zulassungen (ETA), Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (ABP) und Gutachten. [25] Die Brandbeanspruchung

Erfolgt nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) [27], die bei der Ermittlung des Feuerwiderstandes von Bauteilen zugrunde gelegt wird [25] (Abbildung 148).

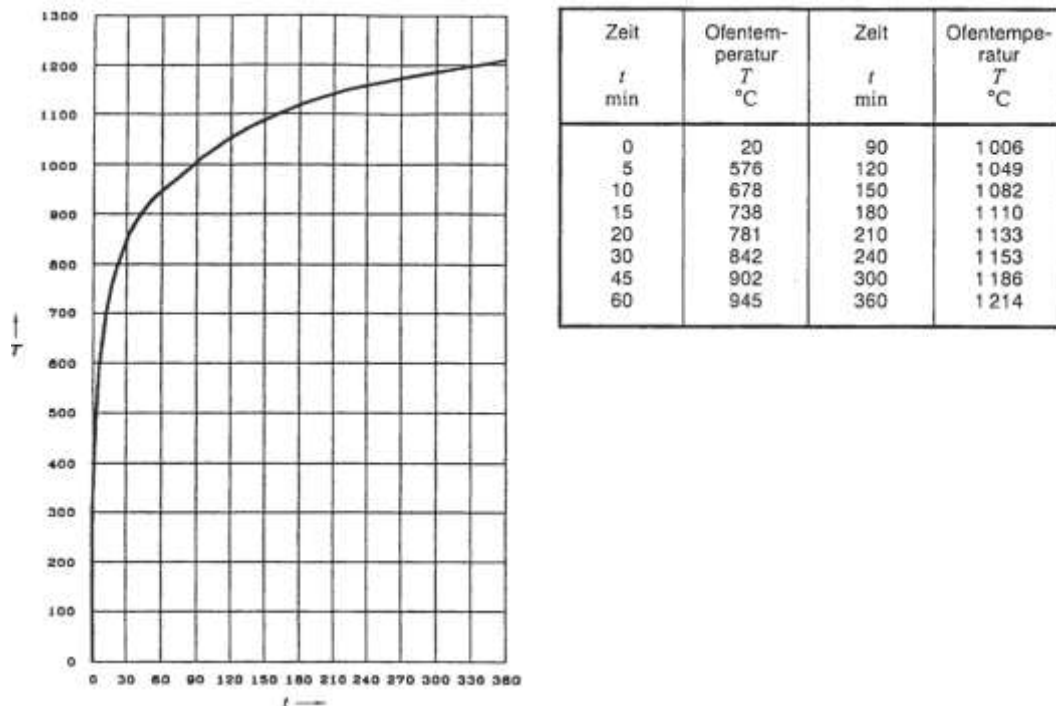


Abbildung 148. Einheits-Temperaturzeitkurve.

### Brandentstehung / Brandentwicklung

Zur Entstehung eines typischen Brandes müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Es muss ein brennbarer Stoff vorliegen.
- Es muss Sauerstoff vorhanden sein.
- Es muss die Entzündungstemperatur des Stoffes erreicht werden.

Nach der Brandentstehung wird durch die frei werdende Energie der Raum bis zu einer Grenztemperatur aufgeheizt. Nach Erreichen dieser Grenztemperatur entflammen alle brennbaren Stoffe im Raum (Feuerübersprung oder „Flash - Over“ - Abbildung 149). Somit ist in der Anfangsphase bis zum „Flash - Over“ das Brandverhalten der Baustoffe und Einrichtungsgegenstände von wesentlicher Bedeutung. Es umfasst die Entflammbarkeit, die Flammenausbreitung und den Brandbeitrag [25].

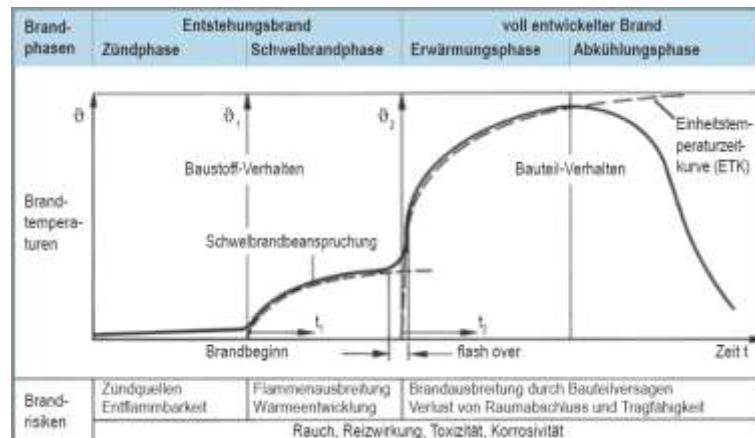


Abbildung 149. Brandphasen und Brandtemperaturen (Schema) sowie Brandrisiken (Beispiele) [25].

### Vollbrand

Nach dem Flash - Over spricht man vom Vollbrand. In dieser Phase sind zur Verhinderung der Brandausbreitung bzw. zum Erhalt der Standsicherheit die Feuerwiderstandszeit der raumabschließenden oder / und tragenden Bauteile von entscheidender Bedeutung. Auf dem Abbildung 149 ist der Ablauf der typischen Brandphasen schematisch dargestellt.

### Brandverlauf

Die Fortdauer eines Brandes und seine Ausbreitung innerhalb eines Gebäudes wird durch die Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt. Von Einfluss sind hierbei die Brandlast in ihrer Art, Menge und Anordnung, die Zufuhr der Verbrennungsluft und die Wärmeverluste, wie sie durch die Wärmeaufnahmekapazität der begrenzenden Bauteile, durch Öffnungen und durch die Raumgeometrie entstehen können. Das Zusammenwirken der einzelnen Faktoren sind auf Abbildung 150 dargestellt. [25]

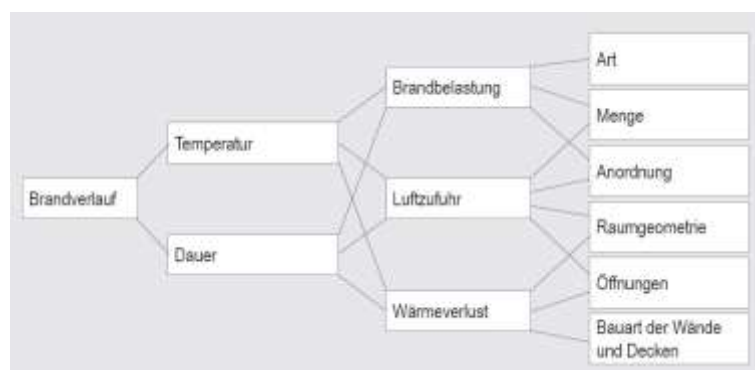


Abbildung 150. Einflüsse auf den Brandverlauf (nach Kordina) [25].

Die Ausbreitung im Bauwerk hängt im Wesentlichen von der Ausbildung der raumumhüllenden Bauteile ab. Dies sind Wände, Decken einschließlich Tragwerk, sowie Fenster, Türen und sonstige Öffnungen.

## Baulicher Brandschutz

Bedingt durch Art, Nutzung und Verwendungszweck von Räumen sind immer brennbare Stoffe vorhanden. Es bleibt somit nur die Möglichkeit, durch entsprechende Ausbildung der den gefährdeten Raum umgebenden Bauteile, die Ausbreitung des Feuers zu behindern. Begrenzt man den Begriff Brandschutz auf den vorbeugenden baulichen Brandschutz, so ergeben sich für die Planung und Konstruktion von Bauwerken folgende Grundregeln:

- a) Ein geringes Brandrisiko ist dann gegeben, wenn möglichst viele nichtbrennbare Baumaterialien eingesetzt werden.
- b) Bei Brandausbruch müssen die im Gebäude befindlichen Personen das Gebäude sicher verlassen können (z.B. durch gesondert abgesicherte Fluchtwege usw.).
- c) Die Ausbreitung und Auswirkung des Feuers und somit die Höhe des Schadens soll gering bleiben, z.B. durch geeignete Gebäudeabstände und durch die Auswahl geeigneter Konstruktionen mit möglichst langer Feuerwiderstandsdauer.

Aus diesen Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit, Baustoffe und Bauteile wissenschaftlich zu untersuchen. Man versucht, in den genormten Prüfverfahren die Verhältnisse und Anforderungen der Praxis nachzuvollziehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der sehr umfangreichen Norm DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen [68-86] – zusammengestellt [25].

### Deutsche Norm - DIN 4102

Das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen wird umfassend in der Norm DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ abgehandelt. [68-86] Der Inhalt der einzelnen Normteile und Ihre Zuordnung zu den Phasen eines Schadensfeuers sowie zueinander ist in der Tabelle 52 und 53 wiedergegeben. Für die Bauausführung ist Teil 4 der Norm von besonderer Bedeutung. [72] Dieser Normteil beinhaltet nachgewiesene Feuerwiderstands- und Baustoffklassen für Konstruktionssysteme aus genormten Baustoffen. Durch die von den Bundesländern vorgenommene bauaufsichtliche Einführung der DIN 4102 gelten Konstruktionen und Baustoffe nach dieser Norm in Erfüllung der Anforderungen der Bauordnung als nachgewiesen. Weitere Nachweise wie Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse oder Zustimmungen im Einzelfall sind für Normkonstruktionen nicht erforderlich. [25]

**Tabelle 52. Baustoffverhalten (Entstehungsbrand) [25].**

Entflammbarkeit - Flammenausbreitung - Wärmeentwicklung					
Rauch - Toxizität - Brennendes Abtropfen					
4102-1	4102-14	4102-15	4102-16	4102-17	4102-18
Baustoffe	Bodenbeläge	Brandschacht	Brandschacht	Mineralfaser	Abschlüsse
	Beschichtungen		Prüfdurchführungen	Schmelzpunkt	selbst-schließend



**Tabelle 53. Bauteilverhalten (voll entwickelter Brand) [25].**

Brandausbreitung durch Verlust von Raumabschluss ggf. Tragfähigkeit oder Temperaturerhöhung und Entflammung auf der kalten Seite bei:	
4102-2	Bauteilen
4102-3	Brandwänden, Außenwänden
4102-4	Klassifizierten Bauteilen
4102-5	Feuerschutzanschlüssen
4102-6	Lüftungsleitungen
4102-7	Bedachungen
4102-8	Kleinprüfstand
4102-9	Kabelabschottungen
4102-11	Rohrleitungen, Installationskanälen
4102-12	Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen
4102-13	Brandschutzverglasungen

### Klassifizierung der Baustoffe in Baustoffklassen

Eine brandschutztechnische Klassifizierung der Baustoffe wird durch Zuordnung in eine Baustoffklasse vorgenommen. Nichtbrennbare Baustoffe werden in die Klasse A, brennbare Baustoffe in die Klasse B eingestuft. Die weitere Untergliederung ist in Tabelle 54 aufgezeigt. Nach der Norm ist eine Klassifizierung in zwei Stadien vorgesehen:

- Für den reinen Anlieferungszustand des jeweiligen Materials oder des Verbundbaustoffes.
- Für das Material oder den Verbundbaustoff im fertigen, eingebauten Zustand.

Nicht erfasst werden die Zeitabschnitte während des Einbaues, wo halbfertige Konstruktionen negative Eigenschaften besitzen können, die im fertigen Zustand nicht mehr gegeben sind [25].

**Tabelle 54. Baustoffklassen nach DIN 4102-1 [25].**

Baustoff- klasse	Bauaufsichtliche Anforderung
<b>A</b>	
A1	nichtbrennbare
A2	Baustoffe (nbr)
<b>B</b>	brennbare Baustoffe (br)
B1	schwerentflammbare Baustoffe
B2	normalentflammbare Baustoffe
B3	leichtentflammbare Baustoffe

### Nachweis der Baustoffklassen

Es bestehen zwei Möglichkeiten des Nachweises:

- Die zu beurteilenden Baustoffe sind in DIN 4102-4 Abschnitt 2 „Klassifizierte Baustoffe“ aufgeführt [72]. Es gilt dann die dort angegebene Baustoffklasse ohne jeden weiteren Nachweis.
- Die Baustoffklasse muss auf Grundlage von Brandversuchen nach DIN 4102-1 durch eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, nachgewiesen werden [68].

Werden Verbundbaustoffe klassifiziert, so müssen sie als Gesamtheit geprüft werden. Eine einfache Auflistung der Baustoffklassen der Einzelbaustoffe des Verbundelementes ist nicht ausreichend. Wenn für den Nachweis dieser Eigenschaften die in der DIN 4102 vorgesehenen Prüfungen nicht ausreichen, sind weitere Nachweise, z. B. im Rahmen der Erteilung einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, zu erbringen. Eine bauaufsichtliche Zulassung im

Sonderfall für Einzelobjekte ist auch durch die Bauaufsichtsbehörde der jeweiligen Länderregierungen möglich [25].

### Klassifizierung von Bauteilen in Feuerwiderstandsklassen

Die grundsätzliche brandschutztechnische Klassifizierung von Bauteilen erfolgt nach Feuerwiderstandsklassen. Die Prüfungen der Bauteile werden i.d.R. nach DIN 4102-2 im Brandraum mit Temperaturen entsprechend einer festgelegten Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) durchgeführt. [70] Bei dieser Prüfung wird der Funktionserhalt des Bauteiles bei Brandbeanspruchung geprüft. Versagenskriterien sind dabei Verlust von Raumabschluss bzw. Tragfähigkeit sowie ein definierter max. Temperaturanstieg auf der dem Feuer abgewandten Seite. Die Klassifizierung erfolgt nach der Zeitdauer, die das Bauteil dem Feuer Widerstand bietet. Für tragende und raumabschließende Bauteile, wie Wände, Decken, Stützen, Unterzüge u. ä. wird die Feuerwiderstandsklasse mit dem Buchstaben F und der Zeit in Minuten bis zum Eintritt eines Versagenskriteriums als F30, F60, F90, F120 und F180 angegeben (Tabelle 55) [25].

**Tabelle 55. Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 [25].**

Feuerwiderstands-klassse	Feuerwiderstandsdauer in Minuten
F30	≥ 30
F60	≥ 60
F90	≥ 90
F120	≥ 120
F180	≥ 180

### Nachweise d. Feuerwiderstandsklassen

In DIN 4102-4 sind Normkonstruktionen verschiedenster Ausführungen klassifiziert [72]. Für Bauteile, deren Eignung nicht durch die DIN 4102 beurteilt werden können, sind Nachweise in Form von Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (ABZ), Allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnissen (ABP) oder Zustimmungen im Einzelfall einer amtlich anerkannten Prüfstelle erforderlich. Die Beurteilung eines geprüften Bauteils gilt grundsätzlich nur für die geprüfte Konstruktion mit den dabei eingesetzten Produkten und Materialien [25].

### Klassifizierung von Bauteilen zu den bauaufsichtlichen Anforderungen

Die brandschutztechnische Qualität eines Bauteils wird aber nicht nur durch den Feuerwiderstand, sondern auch von der Brennbarkeit der im Bauteil befindlichen Baustoffe geprägt. Beide Merkmale – Feuerwiderstand und Brandverhalten der verwendeten Baustoffe – werden mit der sog. Kurzbezeichnung nach DIN 4102-2 erfasst [70]. Die Kennzeichnung zum Brandverhalten der im Bauteil verwendeten Baustoffe erfolgt dabei mit einem A, AB oder B. Es bedeutet gemäß Musterbauordnung, Ausgabe 2002[40] sowie Bauregelliste 2006/1 [41] im Wesentlichen:

- a) **A** das Bauteil besteht ausschließlich aus Baustoffen der Klasse A = nichtbrennbar,
- b) **AB** alle „wesentlichen Teile“ des Bauteiles bestehen aus Baustoffen der Klasse A, im Übrigen können auch Baustoffe der Klasse B (brennbar) verwendet werden,
- c) **B** ein Teil der „wesentlichen Teile“ besteht aus Baustoffen der Klasse B.

Zusätzlich zur Feuerwiderstandsklasse und der Kurzbezeichnung als Ausdruck des Brandschutzvermögens des Bauteils unter Einbeziehung der Baustoffklasse werden im Bauordnungsrecht die Begriffe feuerhemmend, hochfeuerhemmend und feuerbeständig als bauaufsichtliche Forderungen für Bauteile in Bauwerken verwendet. Zugeordnet zu den Begriffen „feuerhemmend“ sind dabei Konstruktionen mit dem Feuerwiderstand F30, „hochfeuerhemmend“ mit F60 und „feuerbeständig“ mit F90 (in einigen Bundesländern mit F120). Zu beachten ist jedoch, dass in den Anforderungskategorien „hochfeuerhemmend“ und „feuerbeständig“ nach dem deutschen Bauordnungsrecht zumindest die „wesentlichen Teile“ des Bauteiles aus

Baustoffen der Baustoffklasse A bestehen müssen, d.h., dass für hochfeuerhemmende Bauteile die Klassifikation mit der Kurzbezeichnung F60-AB und für feuerbeständige Bauteile die Klassifikation mit der Kurzbezeichnung F90-AB (bzw. F120-AB) mind. Erreicht werden muss [25].

### Hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise

Die Musterbauordnung MBO 10/2002 [40] erlaubt es, Bauteile mit wesentlichen Teilen aus Baustoffen der Baustoffklasse B (brennbar) und einer entsprechenden Feuerwiderstandsklasse (F60 / EI60) zur Erfüllung der bauaufsichtlichen Anforderung „hochfeuerhemmend“ einzusetzen. Diese Bauteile müssen zusätzlich den Anforderungen der „Musterrichtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile von Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise“ erfüllen, das heißt, sie müssen allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen besitzen, die eine Entzündung der tragenden und aussteifenden Bauteile während eines Zeitraumes von mindestens 60 Minuten verhindern. Das Brandschutzvermögen der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung ist zusätzlich zur Feuerwiderstandsklasse nach DIN EN 14135 [63] nachzuweisen und nach DIN EN 13501-2 mit K<sub>2</sub>60 (sog. Kapselkriterium) [65] zu klassifizieren. Da diese zusätzliche Anforderung jedoch nicht nach DIN 4102 nachgewiesen werden kann, ist diese Bauweise, nicht in den Zuordnungstabellen der Feuerwiderstandsklassen und Baustoffklassen zu den bauaufsichtlichen Anforderungen für Konstruktionen nach DIN 4102 in der Bauregelliste aufgeführt [25].

**Tabelle 56. Bauaufsichtliche Begriffsdefinitionen / Auszug aus Bauregelliste A, Teil 1, Anhang 0.1.1, Tabelle 1, Ausgabe 2006/1 [25].**

Bauaufsichtliche Anforderung	Klassen nach DIN 4102-2 Tabelle 2	Kurzbezeichnung nach DIN 4102-2
feuerhemmend	Feuerwiderstandsklasse F30	F30-B
feuerhemmend und aus nichtbrennbaren Baustoffen	Feuerwiderstandsklasse F30 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F30-A
hochfeuerhemmend	Feuerwiderstandsklasse F60 und in den wesentlichen Teilen <sup>1)</sup> aus nichtbrennbaren Baustoffen	F60-AB
	Feuerwiderstandsklasse F60 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F60-A
feuerbeständig	Feuerwiderstandsklasse F90 und in den wesentlichen Teilen <sup>1)</sup> aus nichtbrennbaren Baustoffen	F90-AB
	Feuerwiderstandsklasse F90 und aus nichtbrennbaren Baustoffen	F90-A <sup>2)</sup>

- 1) Zu den wesentlichen Teilen gehören:
  - a) alle tragenden oder aussteifenden Teile, bei nichttragenden Bauteilen auch die Bauteile, die deren Standsicherheit bewirken (z. B. Rahmenkonstruktion von nichttragenden Wänden),
  - b) bei raumabschließenden Bauteilen eine in Bauteilebene durchgehende Schicht, die bei der Prüfung nach dieser Norm nicht zerstört werden darf; bei Decken muss diese Schicht eine Gesamtdicke von mind. 50 mm besitzen; Hohlräume im Innern dieser Schicht sind zulässig. Bei der Beurteilung des Brandverhaltens der Baustoffe können Oberflächen-Deckschichten oder andere Oberflächenbehandlungen außer Betracht bleiben.
- 2) nach bestimmten bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften einiger Länder auch F120 gefordert.

### Europäische Normung

Die Umsetzung von nationalen zu europäischen Normen und Zulassungen begann mit der Verabschiedung der europäischen Bauproduktenrichtlinie, die seit einiger Zeit in den Landesbauordnungen und im Bauproduktengesetz im deutschen Baurecht Eingang gefunden hat. Die europäische Normung ermöglicht eine in Deutschland bisher nicht übliche Vielzahl von Klassifizierungen bzgl. des Brandverhaltens der Bauprodukte und des Feuerwiderstandes von Bauteilen, was einerseits den Mitgliedsländern der Europäischen Union ermöglicht, ihr bisheriges Schutz- und Sicherheitsniveau durch die große Auswahlmöglichkeit weitgehend beizubehalten, aber andererseits noch mehr technisches Wissen vom Anwender erfordert. Insbesondere in der Übergangszeit, d.h. in der Phase, in der das bisherige nationale und das europäische Klassifizierungskonzept gleichberechtigt nebeneinander gültig sind, werden an Planer und

Ausführende besonders hohe Anforderungen gestellt. Zusammenhänge zwischen bisheriger deutscher Klassifizierung und künftiger europäischer Klassifizierung werden nachfolgend neben den Grundlagen der europäischen Normung und der Einführung in deutsches Recht erläutert. Das europäische Klassifizierungssystem zum Brandverhalten und zum Feuerwiderstand wurde bereits in der Bauregelliste Teil A, Ausgabe 2002/1 [41] aufgenommen und in den folgenden Ausgaben weiter präzisiert. Das Konzept der europäischen Brandschutznormung umfasst die Bereiche „Prüfnormen“, „Klassifizierungsnormen“ und „Regeln zur erweiterten Anwendung“ [25].

Prüfnormen zur Prüfung der Baustoffe / Bauprodukte sowie der Bauteile / Bauarten:

- a) DIN EN 1363-1 bis -3 Feuerwiderstandsprüfungen [27, 44, 45],
- b) DIN EN 1364-1 bis -4 Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile [46 - 49],
- c) DIN EN 1365-1 bis -6 Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile [50, 87 - 91],
- d) DIN EN 1366-1 bis -10 Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen [54 - 62],
- e) DIN EN 1634-1 bis -3 Feuerwiderstandsprüfungen für Tür- und Abschlusseinrichtungen [51 - 53],
- f) DIN EN 14135 Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung [63]  
Klassifizierungsnormen
- g) DIN EN 13501-1 (Ausgabe Juni 2002) Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten [64],
- h) DIN EN 13501-2 (Ausgabe Dez. 2003) Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen mit Ausnahme von Lüftungsanlagen [65],
- i) DIN EN 13501-3 (Ausgabe März 2006) Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen an Lüftungsanlagen [66],

Regeln zur erweiterten Anwendung

Sie dienen zur Beurteilung des Feuerwiderstandes von Bauteilen mit wesentlichen Abweichungen vom geprüften Bauteil (z.B. Bauteilabmessungen). Diese Regeln werden in den zuständigen europäischen Normenausschüssen diskutiert [25].

## **Europäische Klassifizierung und ihre Einordnung in das deutsche Baurecht**

### **a) Brandverhalten / Baustoffklassen**

Nach der europäischen Normung erfolgt die Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen / Bauprodukten (bisher bezeichnet als Baustoffklassen) in 7 Klassen von A bis F, wobei analog der Klasseneinteilung nach DIN 4102-1 die nichtbrennbaren Baustoffe in die Klassen A1 und A2 eingestuft werden [68]. Neben den Hauptklassifizierungskriterien der Entzündbarkeit, der Flammenausbreitung und der frei werdenden Wärme werden zusätzlich die Brandparallelererscheinungen wie Rauchentwicklung (smoke) und des brennenden Abfallens / Abtropfens (droplets) von Baustoffen ermittelt und in jeweils 3 Stufen mit s1, s2 und s3 (Rauchentwicklung) bzw. d0, d1 und d2 (brennendes Abfallen / Abtropfen) klassifiziert. Eine ungefähre Zuordnung der europäischen Klassen zu den jeweiligen bauaufsichtlichen Anforderungen nach deutschem Baurecht erfolgte in den sogenannten Konvergenztabellen der Bauregelliste A Teil 1 – Ausgabe 2002/1. In der aktuellen Bauregelliste (2006/1) [41] sind jedoch 2 getrennte Tabellen eingearbeitet (siehe Tabelle 54 und 57), jeweils mit der Zuordnung der bauaufsichtlichen Begriffe nach DIN 4102 und nach DIN EN 13501-1 [64], da unterschiedliche Prüfverfahren eine Vergleichbarkeit nicht hundertprozentig zulassen. Zu beachten ist, dass in Deutschland Baustoffe der europäischen Klasse A2 nach DIN EN 13501-1 (nicht zu verwechseln mit der Klassifizierung A2 nach DIN 4102-1) nicht automatisch der bauaufsichtlichen Anforderung „nichtbrennbar“ zugeordnet werden können, sondern sie müssen zusätzlich in die Rauchklasse s1 („kein“ Rauch) und die Abtropfklasse d0 (kein brennendes Abtropfen) eingestuft sein. Ein Baustoff der europäischen Klasse A2-s2, d0 oder A2-s1, d1 erfüllt demnach nicht die Kriterien an die Rauchentwicklung bzw. des brennenden Abtropfens für die Klassifikation „nichtbrennbar“ und kann deshalb nur als schwerentflammbarer Baustoff bewertet werden.

**Tabelle 57. Baurechtliche Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen (ohne Bodenbeläge)**  
(Tabelle 1 zur Anlage 0.2.2 zur BRL A Teil 1 Ausgabe 2006/1) [25].

Bauaufsichtliche Anforderungen	Zusatzforderungen		Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1
	kein Rauch	kein brennendes Abfallen/Abtropfen	
Nichtbrennbar	X	X	A1
	X	X	A2 -s1, d0
Schwerentflammbar	X	X	B, C -s1, d0
		X	A2, B, C -s3, d0
	X		A2, B, C -s1, d2
			A2, B, C -s3, d2
Normalentflammbar		X	D -s3, d0
		X	E -d0
			D -s3, d2
			E -d2
Leichtentflammbar			F

**Tabelle 58. Unterklassen der Brandnebenerscheinungen gemäß DIN 13501-1.**

Rauchentwicklung		Brennendes Abtropfen / Abfallen	
s1	keine / kaum Rauchentwicklung	d0	kein Abtropfen
s2	begrenzte Rauchentwicklung	d1	begrenztes Abtropfen
s3	unbeschränkte Rauchentwicklung	d2	starkes Abtropfen

**b) Feuerwiderstandsklasse**

Das europäische Klassifizierungssystem für Bauteile / Bauarten ist im Vergleich zum bisherigen nationalen System wesentlich „feingliederiger“ aufgebaut und ermöglicht eine Vielzahl von Klassifizierungen in verschiedenster Kombination. Die Klassen setzen sich aus Buchstaben und der Angabe der Feuerwiderstandsdauer in Minuten zusammen. Die Buchstaben kennzeichnen dabei das jeweilige Leistungskriterium. Tabelle 59. Die Klassifizierung kann in Schritten von 15 / 20 / 30 / 45 / 60 / 90 / 120 / 180 / 240 Minuten durchgeführt werden. Von diesen Kombinationsmöglichkeiten sind für das deutsche Baurecht die in Tabelle 60 aufgeführten relevant. Sie kennzeichnen Bauteile, mit denen die deutschen baurechtlichen Forderungen erfüllt werden. In der Bauregelliste Ausgabe 2002/1 [41] wurde, ähnlich wie für die Baustoffklassen, die Konvergenz des nach DIN EN 13501 klassifizierten Feuerwiderstandes zu den deutschen bauaufsichtlichen Verwendungsvorschriften einschließlich der Vergleichbarkeit zu der bisherigen Klassifikation nach DIN 4102 aufgezeigt. In der aktuellen Bauregelliste (2006/1) wird aufgrund der bereits genannten Nichtvergleichbarkeit ebenfalls eine Gliederung in mehrere Tabellen (BRL A Teil 1, Anlage 0.1.1, Tabelle 1, national, DIN 4102 und Anlage 0.1.2 Tabelle 1 und 2, europäisch, DIN EN 13501-2) durchgeführt. Auszüge dieser Tabellen sind in den Tabelle 56 und 60 wiedergegeben. Am Beispiel einer tragenden Wand, die nach DIN EN 1365-1 geprüft wurde [50], wird in Zuordnung der Prüfergebnisse bei Erhalt:

- Tragfähigkeit (R): 104 min,
- Raumabschluss (E): 76 min,
- Wärmedämmung (I): 40 min,

die Bandbreite der europäischen Klassifizierung wie folgt deutlich:

R 90 → Tragfähigkeit,

RE 60 → Tragfähigkeit + Raumabschluss,

REI 30 → Tragfähigkeit + Raumabschluss + Wärmedämmung.

Nach DIN 4102 hat diese Konstruktion dagegen als „tragende Wandkonstruktion ohne Raumabschluss“ die Klassifikation F90 – nur Bewertung der Tragfähigkeit – und als „tragende Wandkonstruktion mit Raumabschluss“ die Klassifikation F30 als niedrigstes Ergebnis aus Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung.



**Tabelle 59. Erläuterungen der Klassifizierungskriterien und der zusätzlichen Angaben zur Klassifizierung des Feuerwiderstandes nach DIN EN 13501-2 und DIN EN 13501-3 (Auszug aus Tabelle 3 der Anlage 0.1.2 zur BRL A Teil 1 Ausgabe 2006/1) [25].**

Herleitung des Kurzzeichens	Kriterium	Anwendungsbereich
R (Résistance)	Tragfähigkeit	zur Beschreibung der Feuerwiderstandsfähigkeit
E (Étanchéité)	Raumabschluss	
I (Isolation)	Wärmedämmung (unter Brandeinwirkung)	
W (Radiation)	Begrenzung des Strahlungsdurchtritts	
M (Mechanical)	Mechanische Einwirkung auf Wände (Stoßbeanspruchung)	
S <sub>re</sub> (Smoke max. leakage rate)	Begrenzung der Rauchdurchlässigkeit (Dichtheit, Leckrate), erfüllt die Anforderungen sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei 200 °C	Rauchschutztüren (als Zusatzanforderung auch bei Feuerschutzabschlüssen), Lüftungsanlagen einschließlich Klappen
C... (Closing)	Selbstschließende Eigenschaft (ggf. mit Anzahl der Lastspiele) einschl. Dauerfunktion	Rauchschutztüren, Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
P	Aufrechterhaltung der Energieversorgung und/oder Signalübermittlung	Elektrische Kabelanlagen allgemein
K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	Brandschutzvermögen	Wand- und Deckenbekleidungen (Brandschutzbekleidungen)
I <sub>1</sub> I <sub>2</sub>	unterschiedliche Wärmedämmungskriterien	Feuerschutzabschlüsse (einschließlich Abschlüsse für Förderanlagen)
i→o i←o i↔o (in-out)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Nichttragende Außenwände, Installationsschächte/-kanäle, Lüftungsanlagen/-klappen
a↔b (above-below)	Richtung der klassifizierten Feuerwiderstandsdauer	Unterdecken
v <sub>e</sub> (vertical) h <sub>o</sub> (horizontal)	für vertikalen/horizontalen Einbau klassifiziert	Lüftungsleitungen/-klappen

**Tabelle 60. Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN EN 13501-2 u. DIN EN 13501-3 u. ihre Zuordnung zu den bauaufsichtl. Anforderungen (Anlage 0.1.2 zur BRL A Teil 1 Ausgabe 2006/1) [25].**

Bauaufsichtliche Anforderung	Tragende Bauteile ohne Raumabschluss	Tragende Bauteile mit Raumabschluss	Nichttragende Innenwände	Nichttragende Außenwände	Doppelböden	Selbständige Unterdecken
feuerhemmend	R30	REI30	EI30	E30 (i→o) und EI30-ef (i↔o)	REI30	EI30 (a↔b)
hochfeuerhemmend	R60	REI60	EI60	E60 (i→o) und EI60-ef (i↔o)		EI60 (a↔b)
feuerbeständig	R90	REI90	EI90	E90 (i→o) und EI90-ef (i↔o)		EI90 (a↔b)
Feuerwiderstandsdauer 120 Min.	R120	REI120	-	-		-
Brandwand	-	REI 90-M	EI 90-M	-		-

Die europäische Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen berücksichtigt das Brandverhalten der Baustoffe nicht. Zur Erfüllung der bauaufsichtlichen Anforderungen im deutschen Bauordnungsrecht wird deshalb das Brandverhalten der Baustoffe nach DIN EN 13501-1 zusätzlich bestimmt.

c) Übergangsregeln und Gültigkeit bisheriger Nachweise nach deutscher Klassifizierung  
Die europäischen Normen für die Prüfung, Bewertung und Klassifizierung zum Brandverhalten von Bauprodukten und Bauarten sind eine wichtige Voraussetzung für die Erstellung von harmonisierten europäischen Normen für Bauprodukte und europäische technische Zulassungen für die technische Spezifikation „Brandverhalten“. Da aber in absehbarer Zeit weder harmonisierte europäische Produktnormen noch europäische technische Zulassungen für die Mehrzahl der Bauprodukte erarbeitet sein werden, kann nach Vorliegen der Prüf- und Klassifizierungsnormen

lediglich europäisch geprüft und klassifiziert werden. Die Verwendbarkeit wird jedoch weiterhin national geregelt. In Deutschland gelten folgende Übergangsregeln:

- 1) Das europäische Klassifizierungssystem steht gleichberechtigt neben dem bisherigen Klassifizierungssystem nach DIN 4102 (Beschluss der ARGEBAU).
- 2) Mit der Parallelgeltung beider Klassifizierungssysteme besteht die Möglichkeit für Hersteller und Anwender Nachweise zum Brandverhalten oder zur Feuerwiderstandsfähigkeit entweder auf der Grundlage der DIN EN 13501 oder der DIN 4102 zu führen.
- 3) Eine zeitliche Begrenzung der Geltungsdauer des bisherigen Systems der DIN 4102-Klassen ist z. Zt. nicht abzusehen.
- 4) Die im bauaufsichtlichen Nachweisverfahren für Bauprodukte und Bausätze bisher verwendeten Nachweise für nichtgeregelte Bauprodukte (MBO, Fassung 10/2002)
  - a) Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (ABZ)
  - b) Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (ABP)
  - c) Zustimmung im Einzelfall (ZiE) können gleichberechtigt zu Nachweisen mit europäischer Klassifizierung eingesetzt werden.
- 5) Voraussetzung für einen Zugang in die Mitgliedsländer der EU ist die CE- Kennzeichnung; für diese ist der brandschutztechnische Nachweis nach europäischer Klassifizierung durchzuführen und das Bauprodukt/Bauteil nach harmonisierter Bauproduktnorm oder europäisch technischer Zulassung einzusetzen.

Daraus ist abzuleiten:

Da beide Klassifizierungssysteme gleichberechtigt gültig sind, ist es noch wichtiger als bisher, dass der Planer die Ausschreibungen zweifelsfrei vornimmt. Zweifelsfrei bedeutet, in den Ausschreibungen in Deutschland die bauaufsichtlichen Anforderung für die erforderliche Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile, also - feuerhemmend *oder* - hochfeuerhemmend *oder* - feuerbeständig mit Bezug auf die jeweilige Landesbauordnung (gegenüber der europäischen Normung zusätzliche Anforderungen an das Brandverhalten der verwendeten Baustoffe) und gegebenenfalls mit zusätzlichen Anmerkungen wie z. B. - feuerbeständig mit nur nichtbrennbaren Baustoffen *oder* – Brandwand zu verwenden. Mit einer solchen Ausschreibung ist der bauausführende Betrieb in der Lage, technisch optimale und wirtschaftliche Bauteillösungen (unabhängig vom Nachweisverfahren) anzubieten. Anmerkungen zu der Tabelle 56, 60 und 61: Hochfeuerhemmende Bauteile, klassifiziert nach DIN EN 13501, können auch Konstruktionen sein, deren tragende und aussteifende Teile aus brennbaren Baustoffen (z. B. Holz) bestehen und die allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung) und Dämmstoffen haben (Bisher als „BA-Bauweise“ bezeichnet). Das Brandschutzvermögen der Brandschutzbekleidung ist jedoch zusätzlich zur Feuerwiderstandsfähigkeit nachzuweisen und nach DIN EN 13501-2 mit K<sub>2</sub>60 zu klassifizieren. Bei feuerbeständigen Bauteilen müssen tragende und aussteifende Teile aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen und bei raumabschließenden Bauteilen zusätzlich eine in Bauteilebene durchgehende Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen haben [25].

### Landesbauordnungen (LBO)

Die Generalklausel des Brandschutzes, die in ähnlicher Fassung in allen Landesbauordnungen enthalten ist, lautet: Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind [40].

Um diese Grundsatzanforderung zu erfüllen, werden in den Landesbauordnungen der Bundesländer die dazugehörigen Durchführungsbestimmungen sowie in weiteren Vorschriften konkrete Maßnahmen zum baulichen Brandschutz vorgeschrieben. Basis für die LBO ist die Musterbauordnung (MBO), rechtsverbindlich sind jedoch die jeweiligen Länderregelungen. Alle Landesbauordnungen unterscheiden nach:

- Gebäuden normaler Art oder Nutzung (das sind Wohngebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung) und
- Sonderbauten (z. B. Hochhäuser, Industriebauten, Versammlungsstätten oder Krankenhäuser).


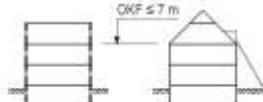
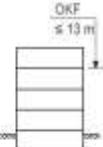
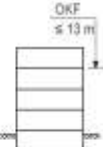

Neben den Landesbauordnungen sind insbesondere für Sonderbauten nachfolgende Verordnungen zu beachten:

- Hochhausrichtlinie bzw. –verordnung (Gebäude mit OKF  $\geq 22$  m),
- Verkaufsstättenverordnung,

- Versammlungsstättenverordnung,
- Gaststättenverordnung,
- Krankenhausbauverordnung,
- Schulbaurichtlinie,
- Beherbergungsstättenverordnung,
- Industriebaurichtlinie,
- Richtlinie für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau,
- Lüftungsanlagenrichtlinie,
- Garagenverordnung,
- Leitungsanlagenrichtlinie,
- Feuerungsverordnung.

Nach MBO 10/2002 sind die Gebäude wie in Tabelle 61, abhängig von Gebäudehöhe, Nutzungsfläche, Nutzungsart und Anzahl der Nutzungseinheiten, in 5 Gebäudeklassen unterteilt, denen entsprechende Brandschutzanforderungen an die Bauteile zugeordnet werden (für Kellergeschosse gelten gesonderte Regelungen) [25].

**Tabelle 61. Gebäudeklassen.**

1	2	3	4	5
freistehend land- oder forstwirtschaftlich genutzt	freistehend und OKF $\leq 7$ m und $\leq 2$ NE und $\leq 400 \text{ m}^2$ *)	OKF $\leq 7$ m und $> 2$ NE und / oder $> 400 \text{ m}^2$ *)	OKF $\leq 13$ m und $\leq 400 \text{ m}^2$ <u>je NE</u>	sonstige Gebäude $13 \text{ m} < \text{OKF} \leq 22 \text{ m}$ oder $> 400 \text{ m}^2$ <u>je NE</u>
				
erforderliche Feuerwiderstandsklassen / Bauaufsichtliche Anforderung der Bauteile nach DIN 4102 bzw. DIN EN 13501 (Tragende und aussteifende Wände, Stützen, Trennwände, Decken zwischen NE)				
keine Forderungen	feuerhemmend	hochfeuerhemmend	feuerbeständig	
NE ... Nutzungseinheit	OKF ... Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses mit Aufenthaltsraum			
*) ... Brutto-Grundfläche der Nutzungseinheiten ohne Kellergeschosse				